COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

6









COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

6

Dirección editorial: Julián Viñuales Solé

Asesores científicos: Serge Bertino, Rhodes W.Fairbridge, Antonio Ribera y Vicente Manuel Fernández

Traducción: Vicente Manuel Fernández y Miguel Aymerich

Coordinación editorial: Julián Viñuales Lorenzo

Coordinación técnica: Pilar Mora

Coordinación de producción: Miguel Angel Roig

Diseño cubierta: STV Disseny

Publicado por :
Ediciones Folio, S.A.
Muntaner, 371-373
08021 Barcelona

De esta obra hubo una edición anterior de doce volúmenes titulada genéricamente *Los Secretos del Mar.*

Distribución exclusiva para España y América:
Editorial Rombo, S.A.

ISBN: 84-7583-499-X (Volumen 6)
84-7583-530-9 (Obra completa)

Impresión: Gráficas Estella

Depósito Legal: NA. 1304-1993
Printed in Spain

COUSTEAU
ENCICLOPEDIA DEL MAR

6

folio

SUMARIO

EL MAR EN EL SIGLO XX

LAS TÉCNICAS DE INMERSIÓN

SUMERGIBLES Y BATISCAFOS

LOS LABORATORIOS SUBMARINOS

LOS CENTINELAS DEL MAR



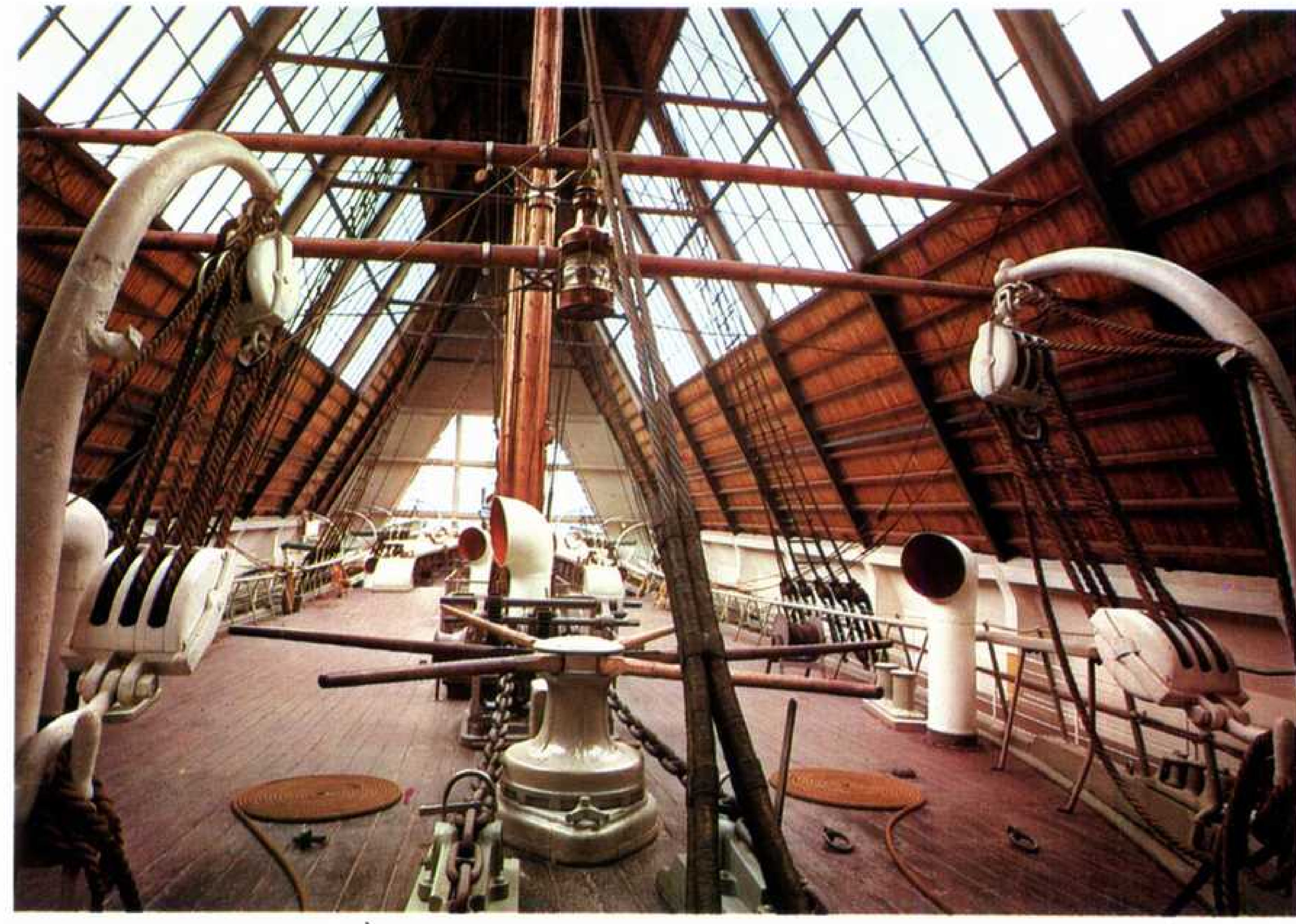

El mar
en el
siglo XX

La edad de oro de los escandinavos

Los escandinavos detentaron casi en su totalidad el monopolio de la oceanografía durante tres decenios, de 1913 a 1943; supremacía que había sido ya anunciada antes de estas fechas por el gran viaje de Fridtjof Nansen al océano glacial Artico a bordo del *Fram,* de 1893 a 1896. Nansen pasó tres inviernos en la banquisa, dejándose llevar a la deriva juntamente con ella. No temía que su barco fuera aplastado por los hielos, dado que lo había proyectado especialmente para afrontar esta misión. No dejó tampoco de acumular observaciones de todo tipo. Fue durante esta expedición cuando perfeccionó definitivamente la botellla de recogida de muestras que lleva su nombre. También durante esta interminable aventura, científica y humana al mismo tiempo, fue cuando Nansen aportó la prueba de que se podía vivir y trabajar en las inhóspitas condiciones de las regiones polares. Nansen cartografió parajes desconocidos, estudió el hielo de mar, y sobre todo demostró que el océano glacial Artico es profundo, mucho más profundo de lo que se pensaba generalmente hasta entonces.

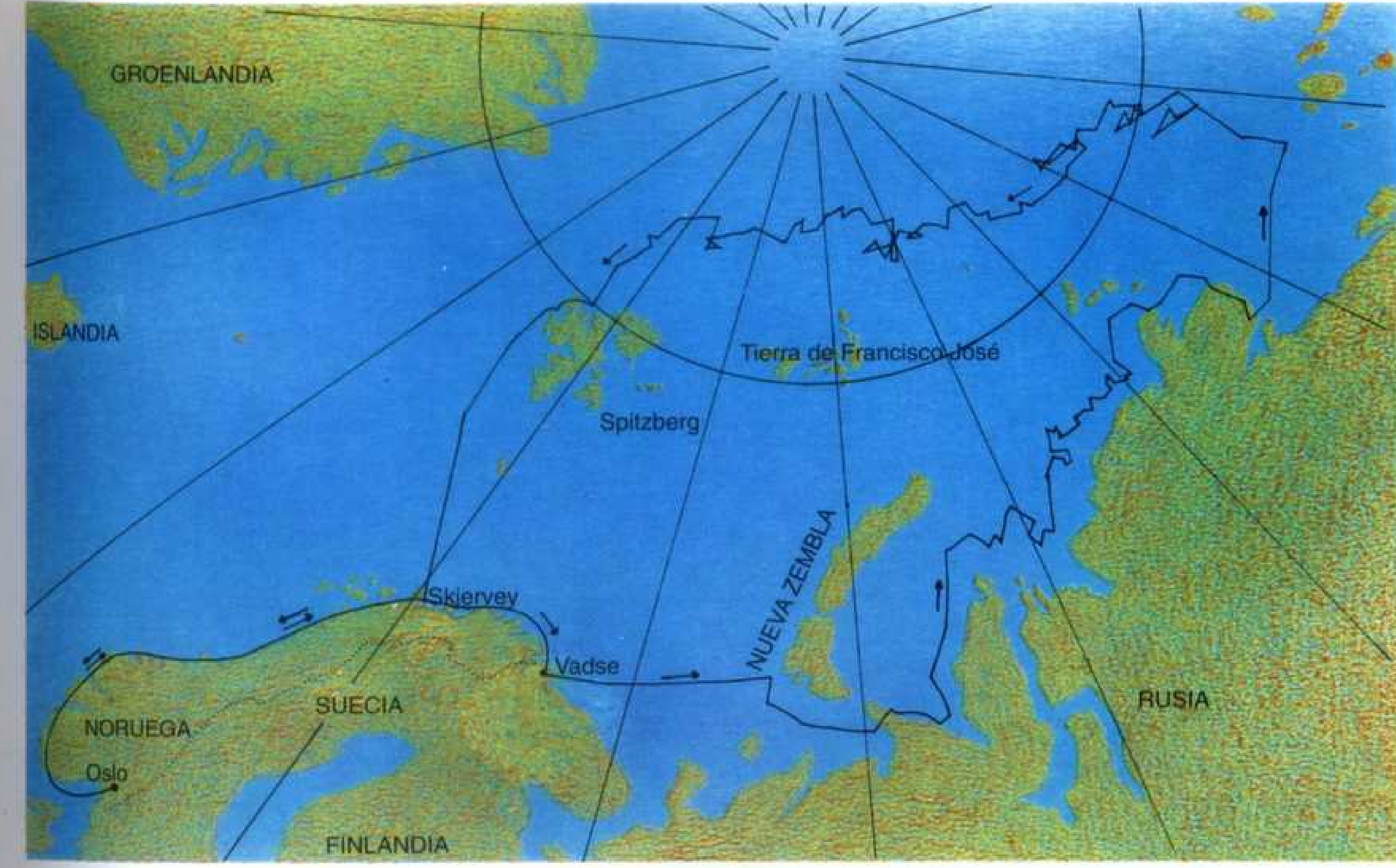


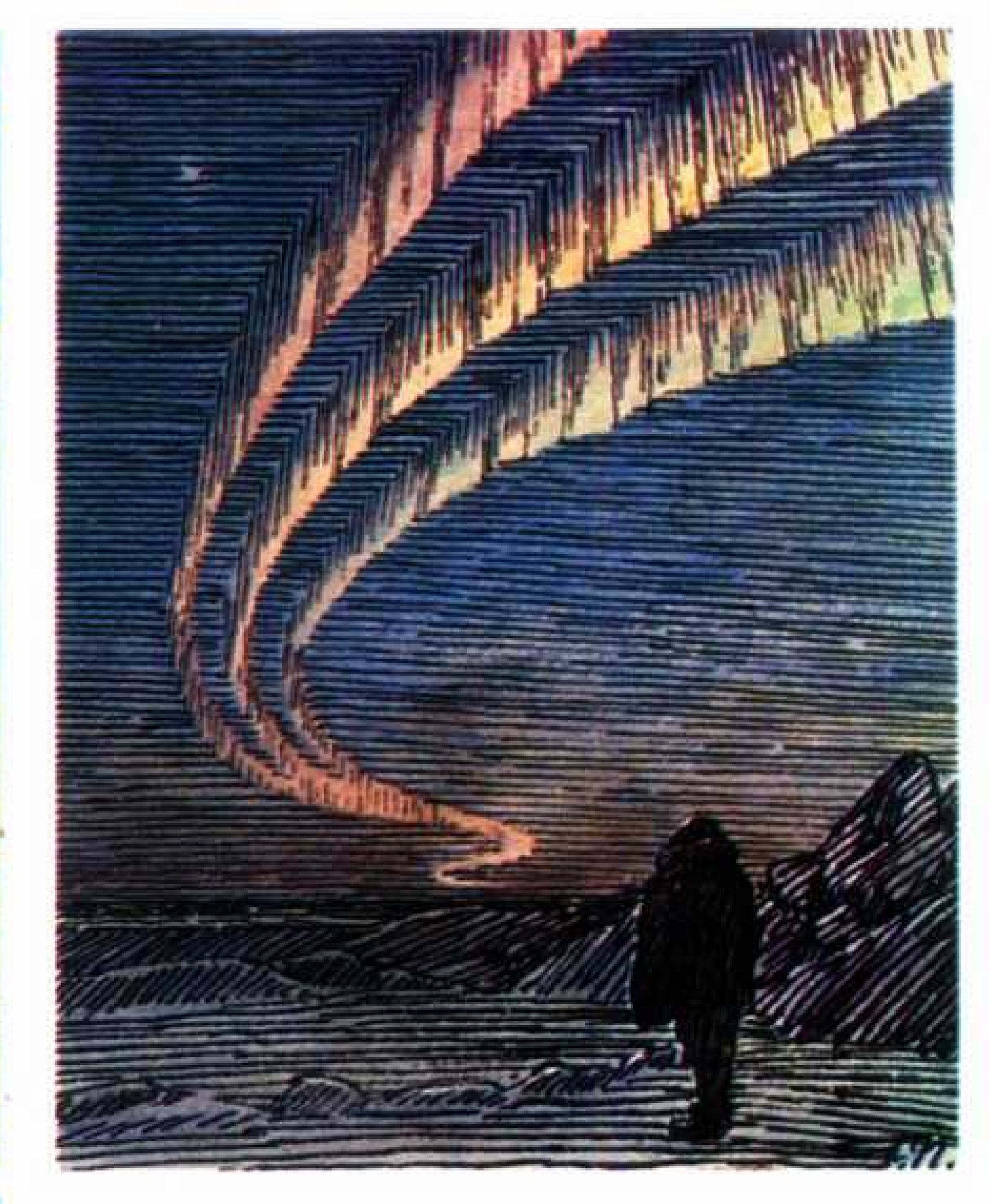




El *Fram* se hizo por segunda vez a la mar en 1898 y arrumbó hacia las costas noroccidentales de Groenlandia. Esta nueva expedición, dirigida por Otto Sverdrup, permitió a los geógrafos embarcados levantar la carta completa de la inmensa isla congelada. Luego, el barco polar fue puesto en carena durante algunos años. Reanudó gloriosamente el servicio en 1910, cuando Roald Amundsen se embarcó en él en dirección de la Antártida, para la expedición que lograría llegar al polo Sur un año después.

Durante todo el período que siguió, los científicos escandinavos acumularon descubrimiento tras descubrimiento, recibiendo por ello justo honor. Nansen no sólo fue recompensado por su obra de descubridor y oceanógrafo: obtuvo asimismo el premio Nobel de la Paz por su actividad en favor de los refugiados durante la primera guerra mundial. Sus colegas recibieron en su mayoría el premio Agassiz, el equivalente del Nobel para los oceanógrafos. Tal fue el caso en especial de Otto Petterson, de Wilhem Bjerknes, de Walfrid Ekman, de Bjorn Helland-Hansen, y finalmente de Martin Knudsen. Por esta época se resolvieron gran cantidad de problemas referentes a la acción combinada de los parámetros oceánicos geofísicos (temperaturas, densidad de las masas de agua, fuerza de Coriolis, etc.). Evidentemente, no existían entonces computadoras para efectuar los cálculos complejos que imponía la manipulación de tales parámetros. Pero es que los científicos de aquella época eran todos auténticas calculadoras de primer orden. Los escandinavos se complacían diciendo que su éxito en el campo de la oceanografía se debía a que, durante el largo invierno ártico, tenían tiempo de despejar cualquier ecuación que se les pusiera por delante... H.V. Sverdrup pretendía, con buen humor, que sólo se piensa bien cuando se está prisionero dentro de un barco polar,







El Fram. *En el mar (página anterior, arriba) o en el museo de Oslo (en la misma página, abajo), el* Fram *conserva su gallardía. Especialmente construido para evitar la formidable presión de la banquisa (al levantarse sobre ella), el buque llevó a cabo una primera expedición (mapa de arriba) en 1893-1896, bajo la dirección de Nansen (abajo), quien hizo el dibujo de una aurora boreal que aparece sobre estas líneas. La segunda expedición (mapa de abajo) fue conducida por Sverdrup.*



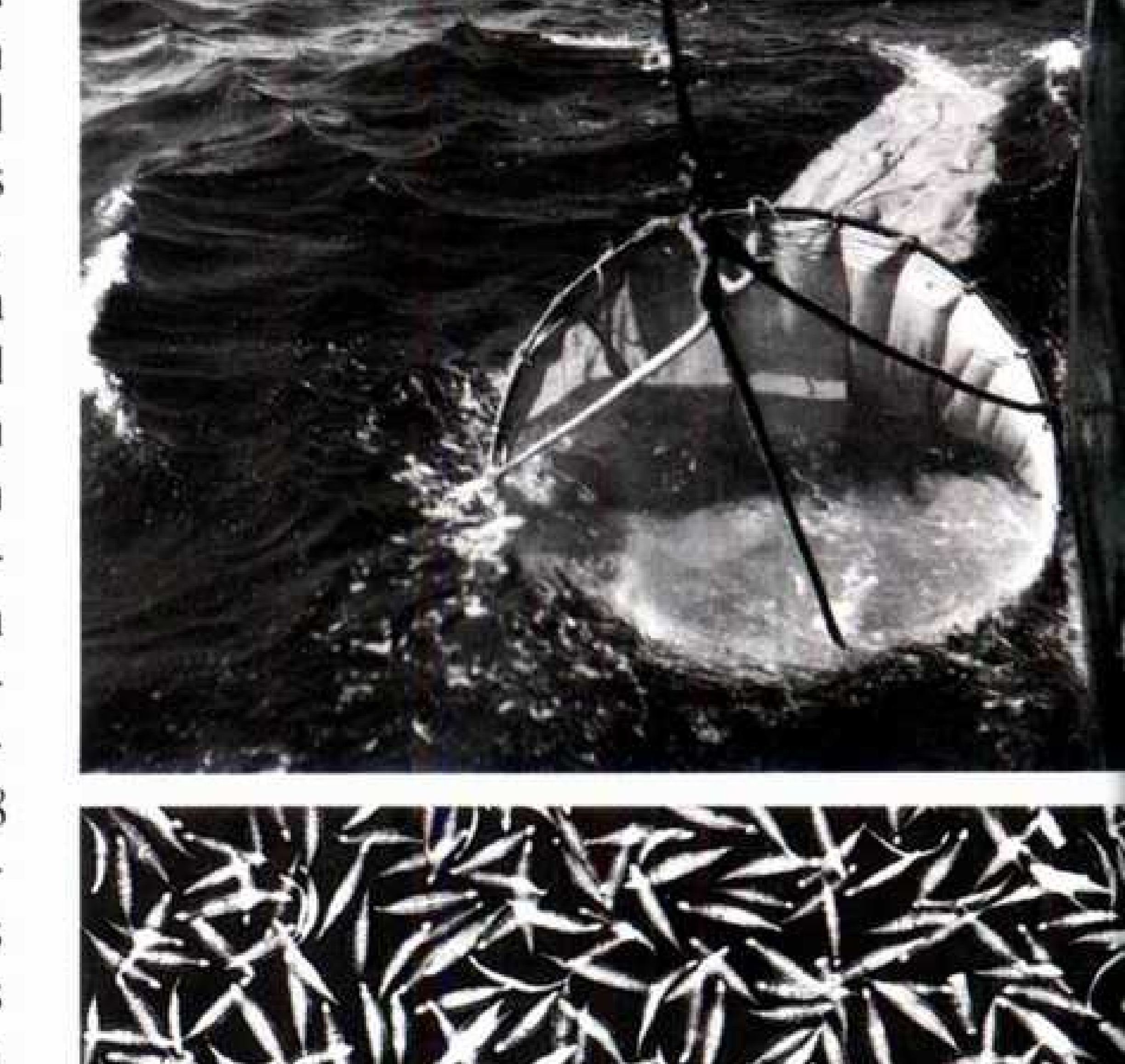
bloqueado por la banquisa durante largos meses, en la interminable noche del Artico...

Pero los escandinavos no se limitaron a explorar los mares polares. Michael Sars estudió más en particular la distribución de las riquezas pesqueras en el Atlántico norte. Otros se dedicaron a definir cada concepto de la oceanografía física.

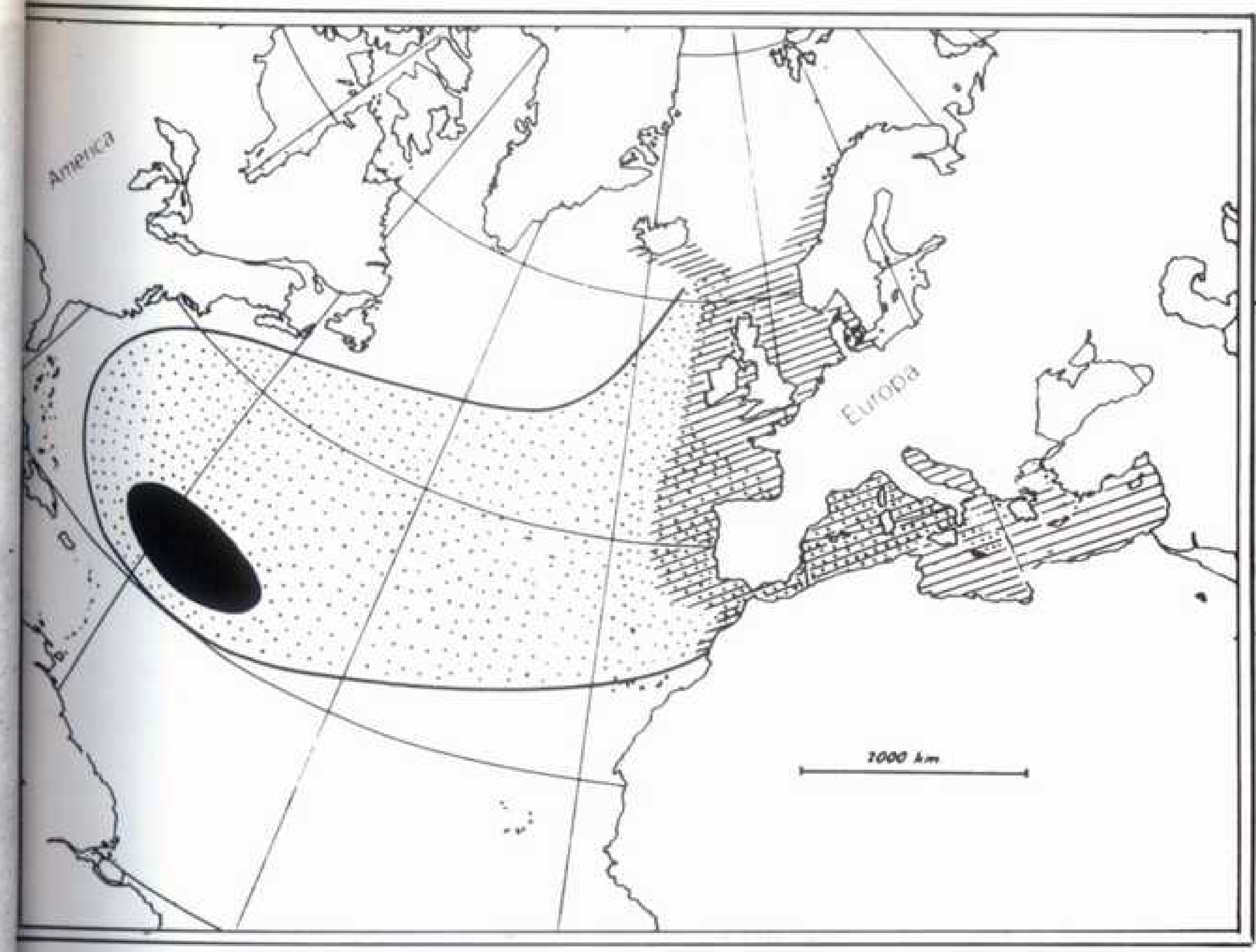
Los británicos, por su parte, no se mantuvieron inactivos precisamente. John Murray, que ya había tenido el mérito de ordenar la multiplicidad de datos consignados en los cincuenta volúmenes de los viajes del *Challenger*, dirigió en 1910 una travesía corta, pero muy fructífera. Sus resultados se publicaron en 1912, con el título *The Depths of the Oceans* («Las profundidades de los océanos»). También esta obra tuvo incluso un coautor escandinavo: Johan Hjort. Este reanudó, citándolos, los principales trabajos de las escuelas noruega y sueca, merced a los cuales se pudo verdaderamente decir que la oceanografía física entraba con buen pie en el siglo XX. En 1913, John Murray publicó un segundo libro titulado *The Ocean, A General account of the Science of the Sea* («El océano, informe general de la ciencia de los mares»). Este libro constituye una auténtica obra maestra del espíritu de síntesis, y durante muchísimos años llegaría a convertirse en la obra de referencia utilizada por todos los oceanógrafos.

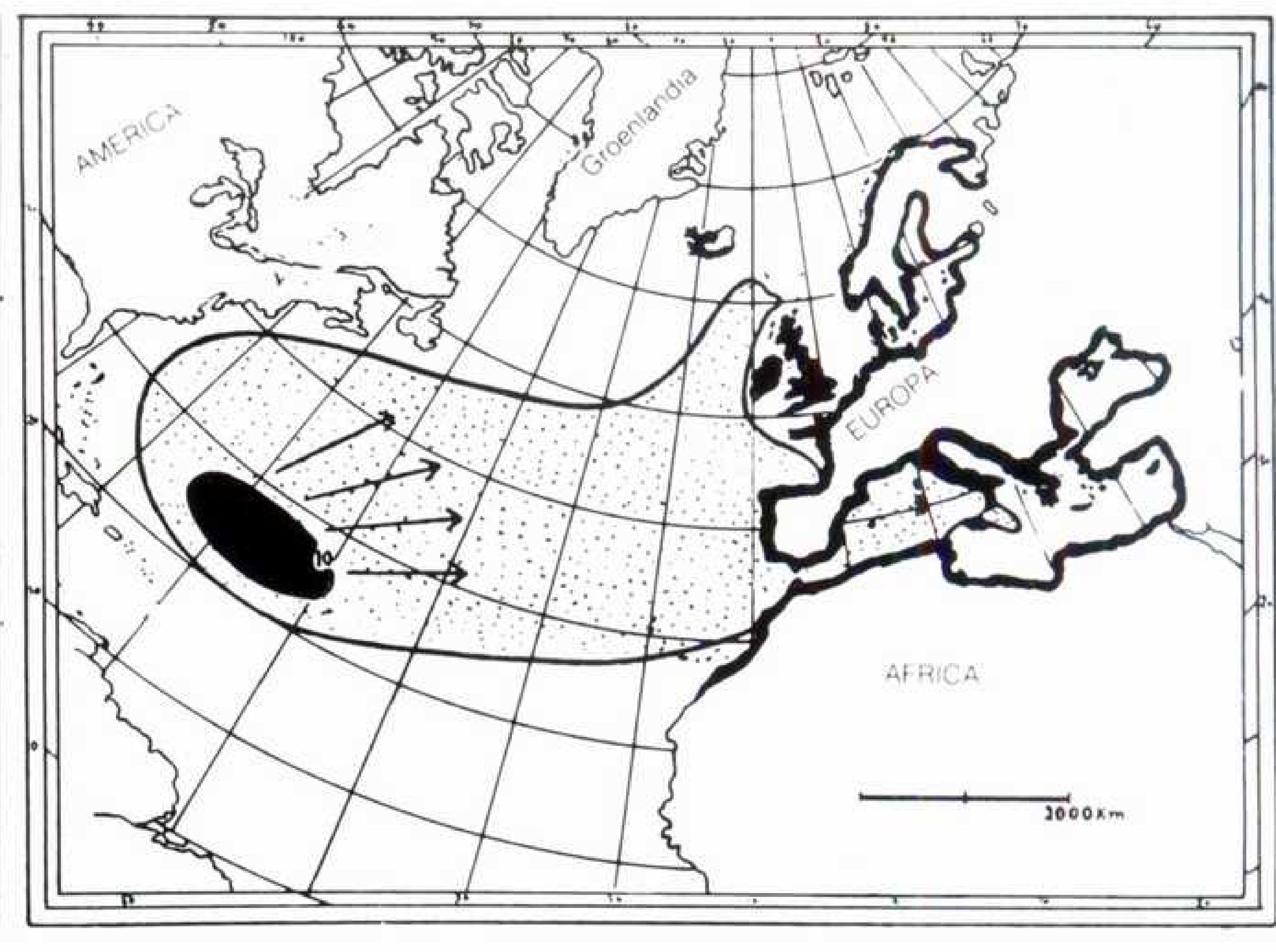
El conjunto de la economía de los países escandinavos depende en gran medida del mar. Su abastecimiento alimentario es ampliamente un tributo del océano. Esto explica su esfuerzo tan particular en el campo de la oceanografía, y ante todo de la oceanografía biológica. Suecia, Noruega y Dinamarca han hecho una especialidad del estudio de las zonas de pesca. Durante los primeros decenios de nuestro siglo, estos países tuvieron casi el monopolio de todo lo concerniente a la ciencia en estos dominios.

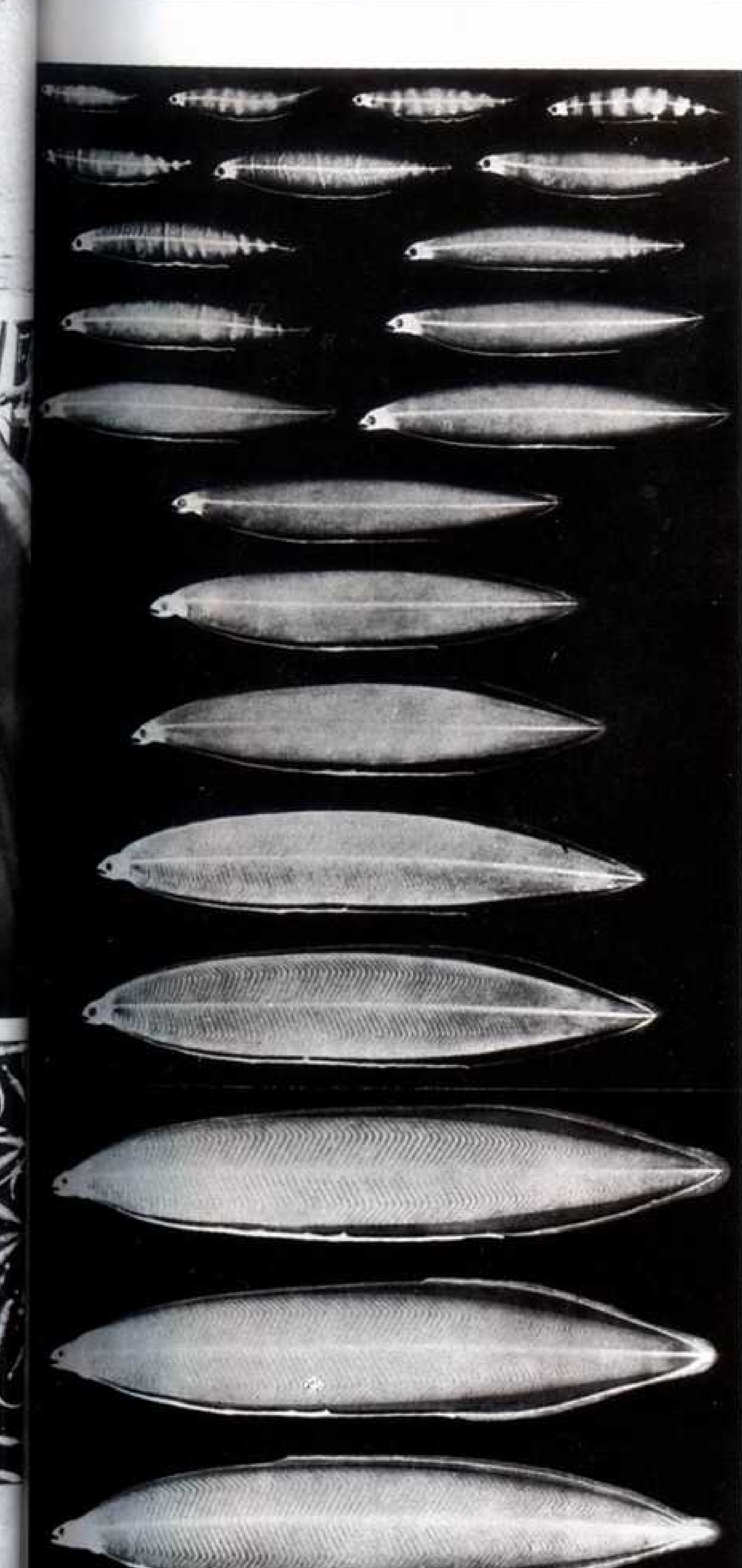
Uno de los mejores especialistas fue el danés Carl Georg Johannes Petersen. Este científico inició sus estudios de oceanografía biológica en las costas de su país en 1883, siendo en 1890 director técnico de una sociedad pesquera. Para calcular mejor los recursos alimentarios del mar, Petersen perfeccionó diversas técnicas de recuento de los peces. Una de ellas, ampliamente utilizada todavía, es el mercado de las crías: cuando estos animales son repescados, después de un cierto tiempo, se pueden deducir sus migraciones, su rapidez de crecimiento, etc. Petersen creó así métodos de recuento directo de los efectivos de los bancos de peces, basados en muestreos a los que se aplican coeficientes multiplicadores, calculados a su vez según numerosos experimentos. El oceanógrafo danés inventó además una cuchara-draga de recolección en forma de caracol que lleva su nombre. A partir de 1911 intentó cuantificar el conjunto de la fauna abisal. Sus trabajos desembocaron en un fructífero conjunto de descubrimientos. Se advirtió, por ejemplo, que, esencialmente, la fauna pelágica (de alta mar) vive en bancos concentrados, en los lugares en donde el plancton prolifera, y que, por el contrario, inmensas regiones oceánicas pueden considerarse como desiertos. También por primera vez se tuvo una idea de la distribución de los animales del bentos, es decir, de los que viven fijos en el suelo del océano, o que se esconden en el substrato. Se comenzó a estudiar la distribución por escalones de la fauna y de la flora marinas. Empezó a precisarse igualmente la ecología de cada especie. La Estación Biológica Danesa publicó en 1918 los principales descubrimientos de Petersen, que animó a otros oceanógrafos más jóvenes que él; por ejemplo, a Johannes Schmidt. Este último, sin embargo, no era del todo desconocido cuando comenzó a trabajar con Petersen: en el transcurso de una expedición a las islas Feroe, en 1904, había capturado un extraño animal, el leptocéfalo; en aquellos tiempos se ignoraba que se tratase de la larva de la anguila, que eclosiona en el mar de los Sargazos y que nada en dirección a tierra firme. Schmidt, intrigado por su hallazgo, organizó una expedición financiada por la Fundación Carlsberg: llegó hasta el Mediterráneo para tratar de penetrar en el secreto de los leptocéfalos, acabando por resolverlo. Luego prosiguió sus trabajos de biología marina en el Atlántico norte, antes de encaminarse a las Indias Orientales; inventó nuevas redes para capturar animales raros. Habiendo naufragado una vez, el comienzo de la primera guerra mundial le obligó a interrumpir sus investigaciones.

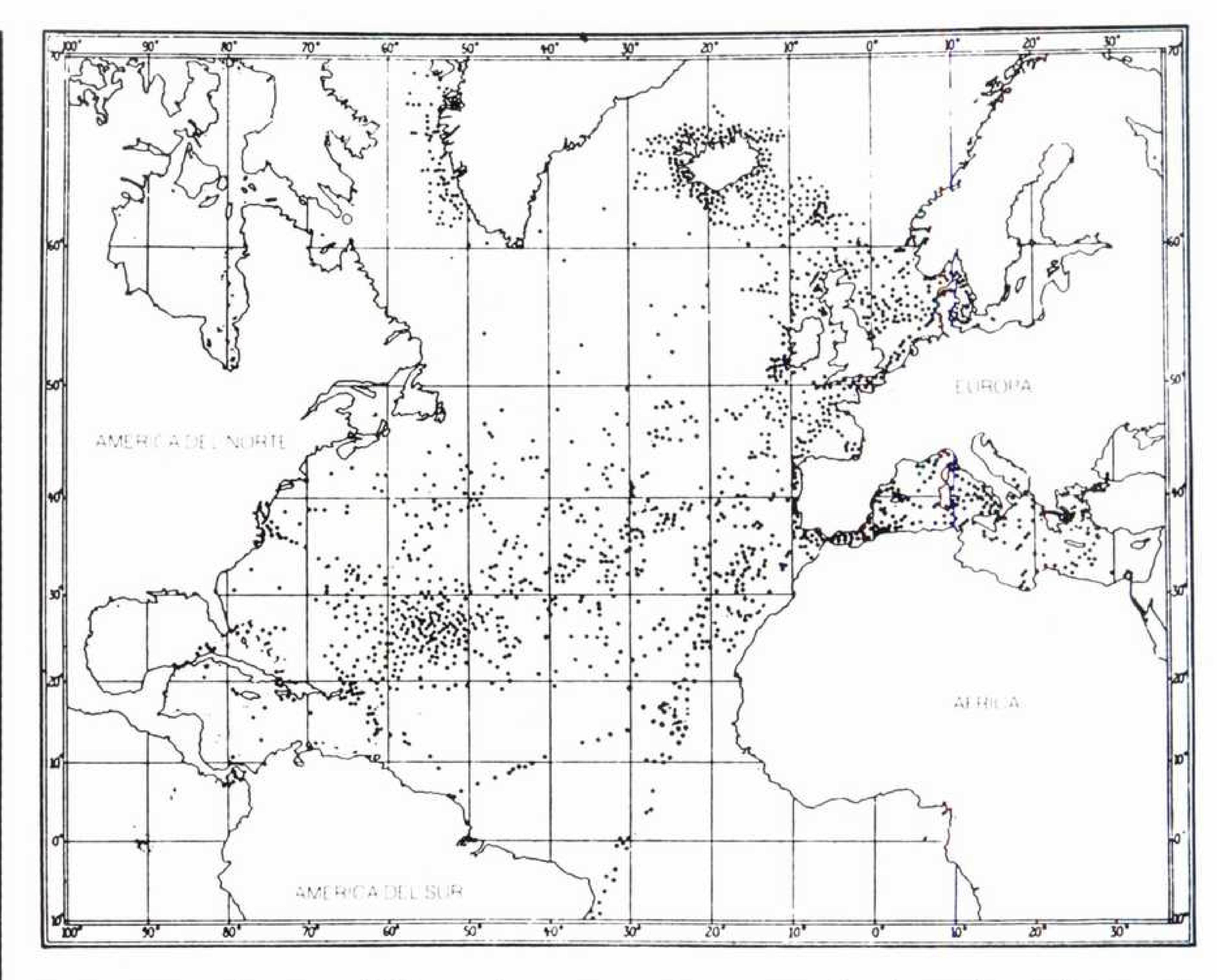


La primera expedición del Dana. *En 1921-1922, el antiguo dragaminas danés* Dana *llevó a cabo una misión en el mar de los Sargazos, para descubrir por fin el secreto de las anguilas. Utilizando una red muy profunda (en el centro), los oceanógrafos de a bordo lograron capturar larvas-leptocéfalos de tres meses (arriba) que sólo podían haber eclosionado en estas aguas. El* Dana *recogió numerosas muestras de agua para precisar el itinerario de migración de los peces, y John Schmidt levantó las cartas que figuran en la página siguiente, arriba.*









Estas se reanudaron en 1920, gracias a un nuevo financiamiento de la fundación Carlsberg. Schmidt probó perfectamente que leptocéfalos y anguilas no son sino una sola especie, pero quedaba por saber dónde se llevaba a cabo la reproducción. A bordo del *Dana*, logró demostrar que las anguilas europeas, como las norteamericanas, van a frezar a las aguas profundas del mar de los Sargazos. Para llegar a esta conclusión, el oceanógrafo y su equipo tuvieron que pasar dos temporadas enteras en el mar, esperando con las redes caladas la migración de los peces.

De 1928 a 1930, el *Dana* continuó sus viajes alrededor del mundo. En el curso de este interminable periplo, el equipo científico dirigido por Schmidt no descuidó aspecto alguno de la biología marina. Cierto que el problema de las anguilas seguía obsesionando al director de la misión, en cuanto a que se ignoraba todavía el destino de las especies propias del océano Indico y del Pacífico. Pero el viaje del *Dana*, que fue ejemplar, aportó numerosas nuevas certezas en el campo de la botánica, de la zoología y de la ecología marinas. Se describieron y clasificaron numerosas especies desconocidas de crustáceos, gusanos y moluscos, planctónicos o no. Se precisó la biología de gran cantidad de peces. Se hicieron múltiples observaciones sobre la distribución y la abundancia relativa de las especies comerciales. La energía que Schmidt desplegó en este trabajo a veces fue comparada por su propios subordinados a la de sus antepasados los vikingos, cuando se lanzaron a la conquista del mar, para navegar hasta Islandia, Groenlandia y Terranova.

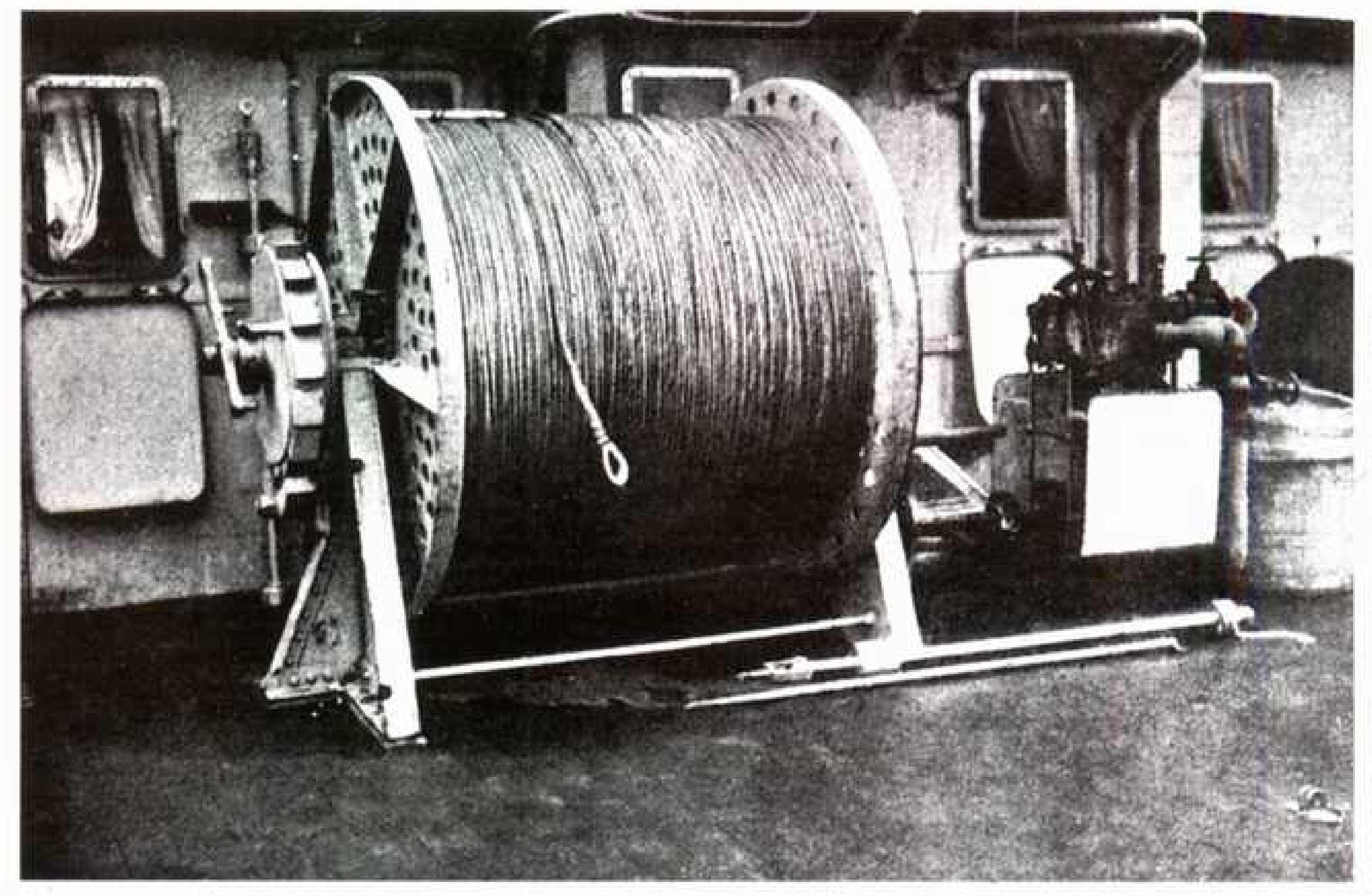
Los sondeos del *Meteor*

ENTRE las dos guerras mundiales, aunque la oceanografía seguía siendo un poco el patrimonio de los escandinavos, otros países europeos trataron también de conocer mejor el mar. Una de las expediciones más famosas de la época fue justamente la del barco alemán *Meteor*, entre 1925 y 1927. El *Meteor* era un antiguo cañonero, que, sin embargo, nunca llegó a participar en una acción de guerra. Totalmente transformado para su nuevo cometido, recibió un completo equipamiento: sacamuestras y cucharas para recoger muestras, redes de plancton, sondas, termómetros, globos de observación meteorológica, aparatos estereofotográficos para el registro de olas, botellas de Nansen, etcétera.

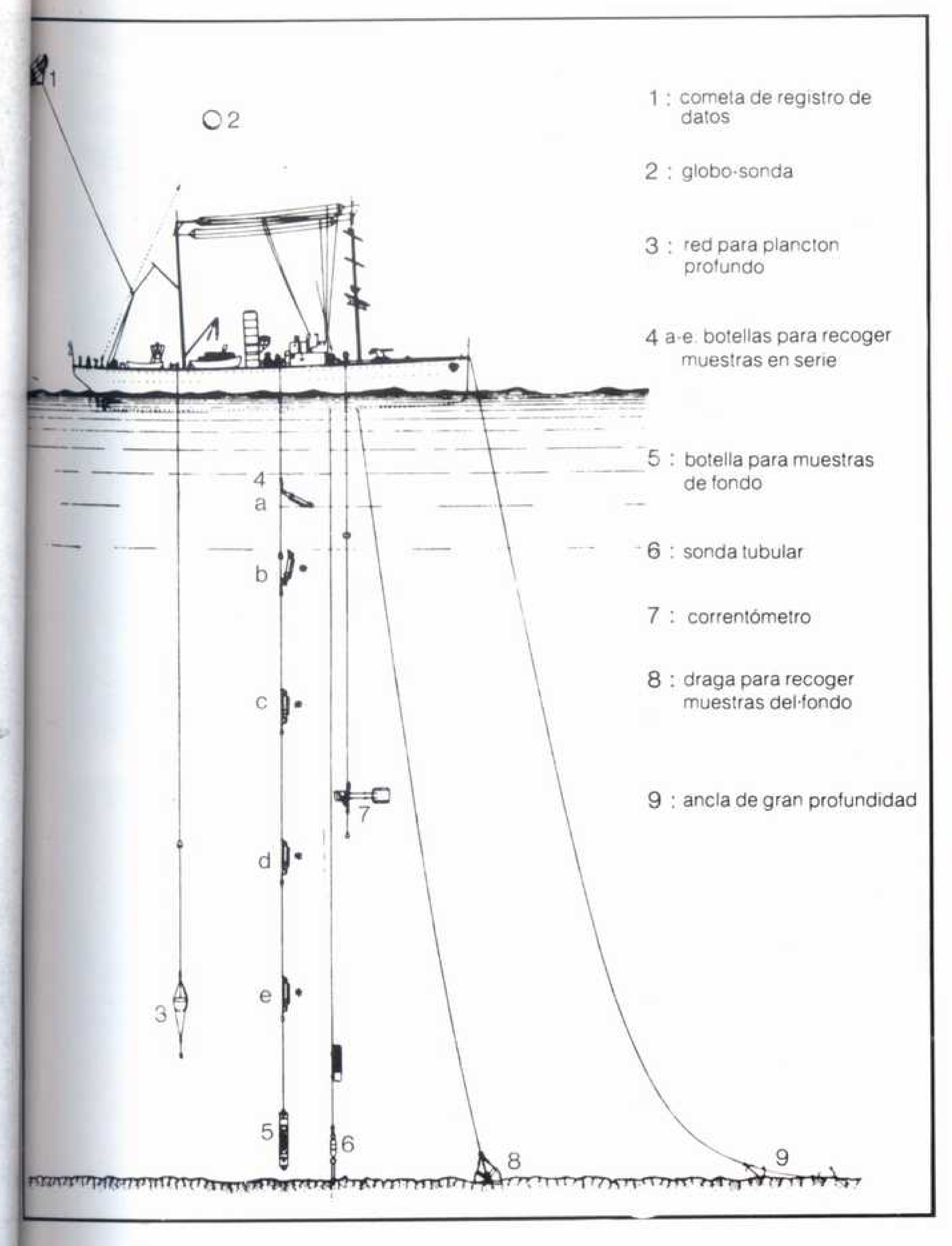
El barco quedó bajo la dirección científica de la Universidad de Berlín. Después de una travesía de prueba a las Canarias y Madeira, emprendió su gran singladura. Zarpando de Wilhelmshaven el 16 de abril de 1925, llegó a Buenos Aires a finales del mes de mayo. Durante veinticinco meses, surcó el Atlántico Sur, siguiendo una ruta prefijada, que contemplaba innumerables estaciones, en las que se procedía a medir y experimentar sin importar si hacía buen o mal tiempo. El objetivo general de la expedición era el estudio de la circulación de las masas de agua a todas las profundidades. Pero los investigadores efectuaron paralelamente innumerables estudios de meteorología, de físico-química y de biología. El *Meteor* fue también el primer barco oceanográfico equipado con la ecosonda, recién inventada; con ella, la misión alemana logró levantar el primer perfil completo de un fondo oceánico, de uno a otro continente: para ello se necesitaron 67.000 levantamientos.

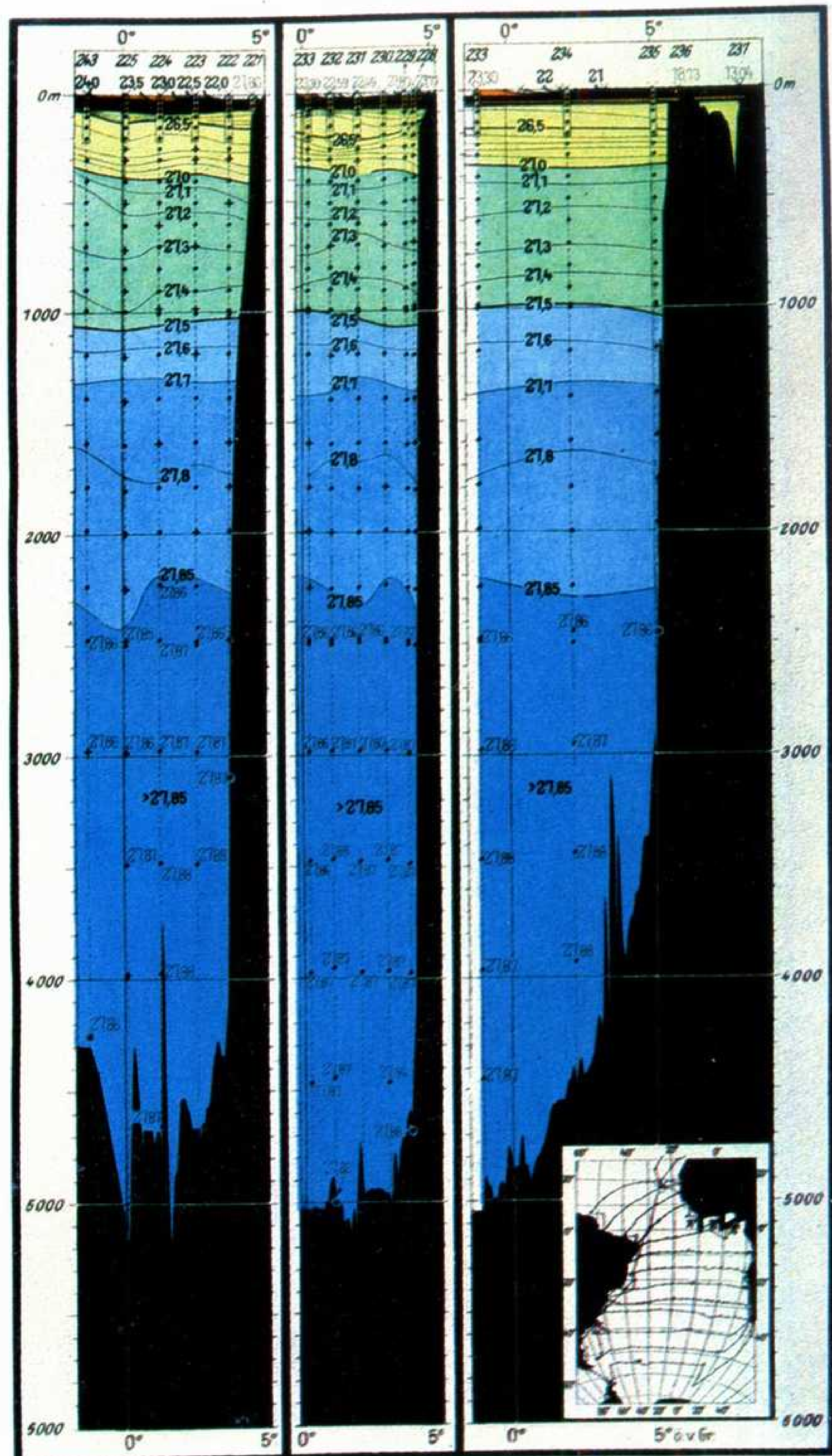
En el campo de la biología, los principales descubrimientos del equipo concernían a la distribución y movimientos diarios del plancton profundo. Sacando muestras de los sedimentos del fondo, los científicos de a bordo lograron igualmente algunas excelentes «primicias» geológicas y paleontológicas. Fueron los primeros en intentar reconstruir la historia de los climas terrestres partiendo de las muestras geológicas.

Puede entenderse la importancia de la expedición del *Meteor* por el hecho siguiente: durante veinte años, todas las teorías referentes al movimiento de las masas acuáticas marinas se refirieron específicamente a las cifras entonces publicadas. El barco oceanográfico alemán no fue desarmado inmediatamente: en 1929 y 1930 llevó a cabo nuevas investigaciones en el Atlántico septentrional, especialmente alrededor de Islandia y de Groenlandia.





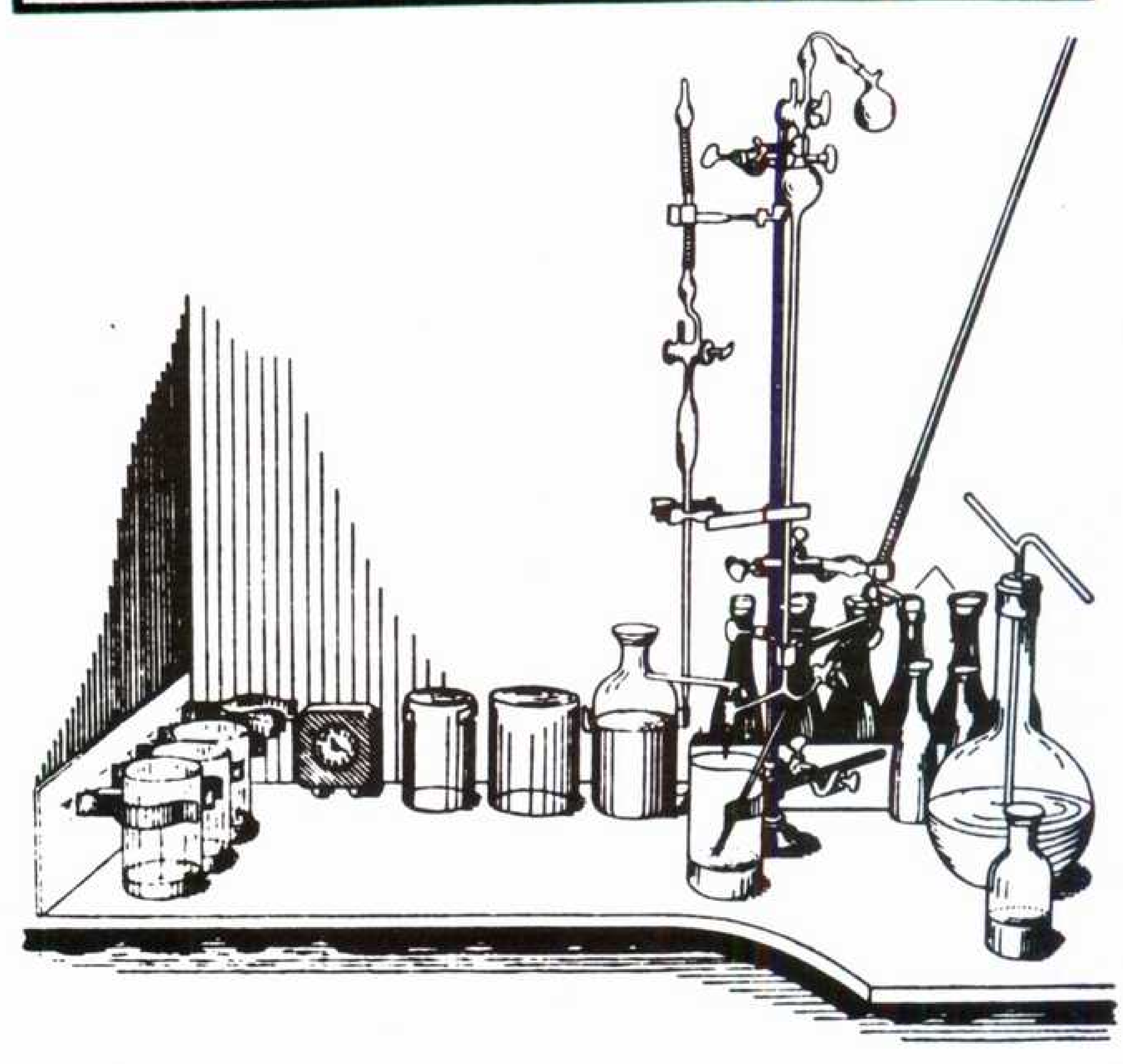




Las investigaciones profundas. *El* Meteor *exploró el Atlántico meridional. Página anterior, abajo: los potentes cables de arrastre de diversos instrumentos para obtener muestras. Arriba: un esquema de los instrumentos utilizados. Abajo: los científicos examinan los primeros resultados de un experimento en el puente mismo del barco.*

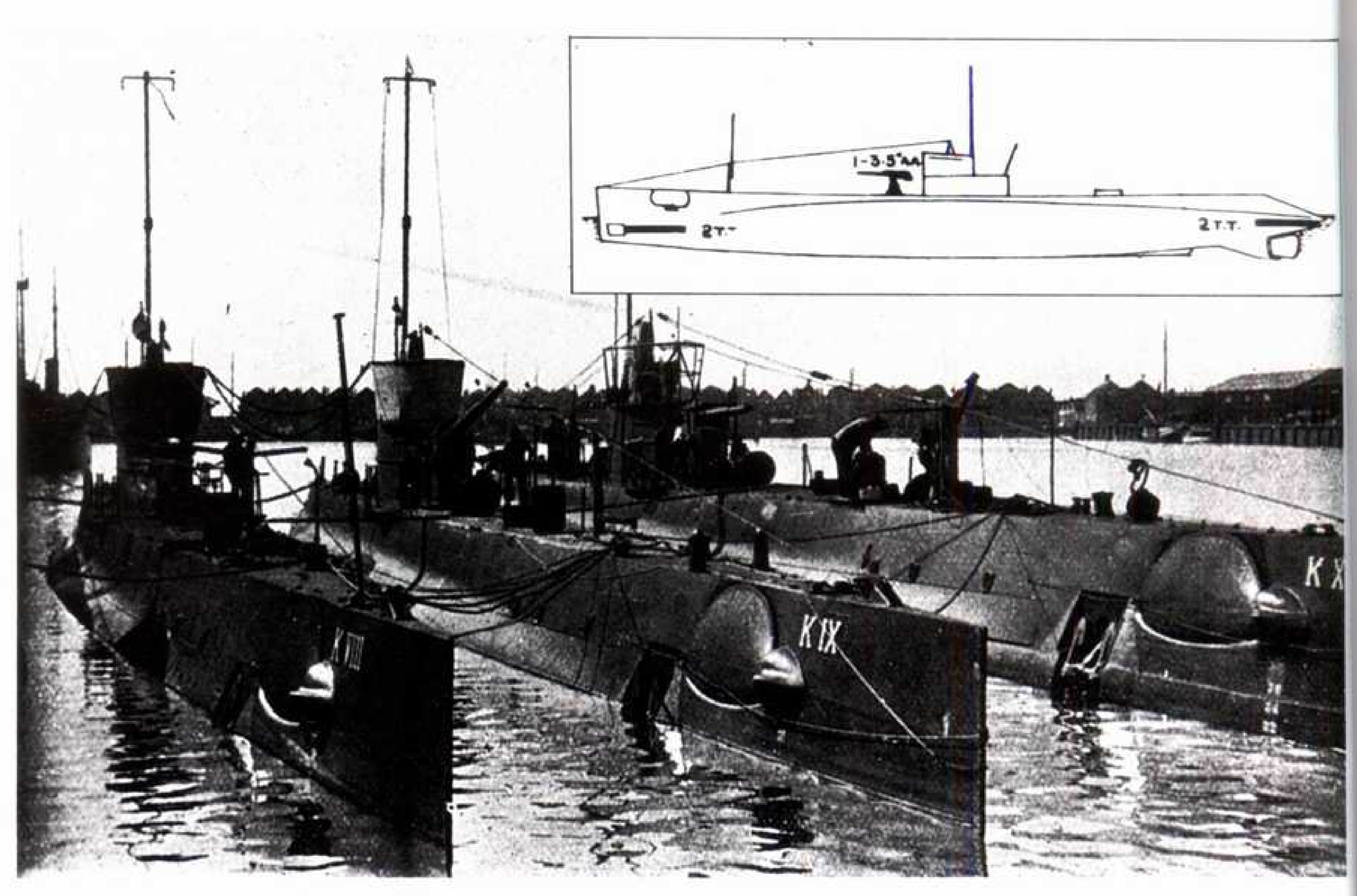
Arriba, a la derecha: tres perfiles del fondo del Atlántico entre Africa occidental y América del Sur. Abajo, a la derecha: algunos frascos a bordo.



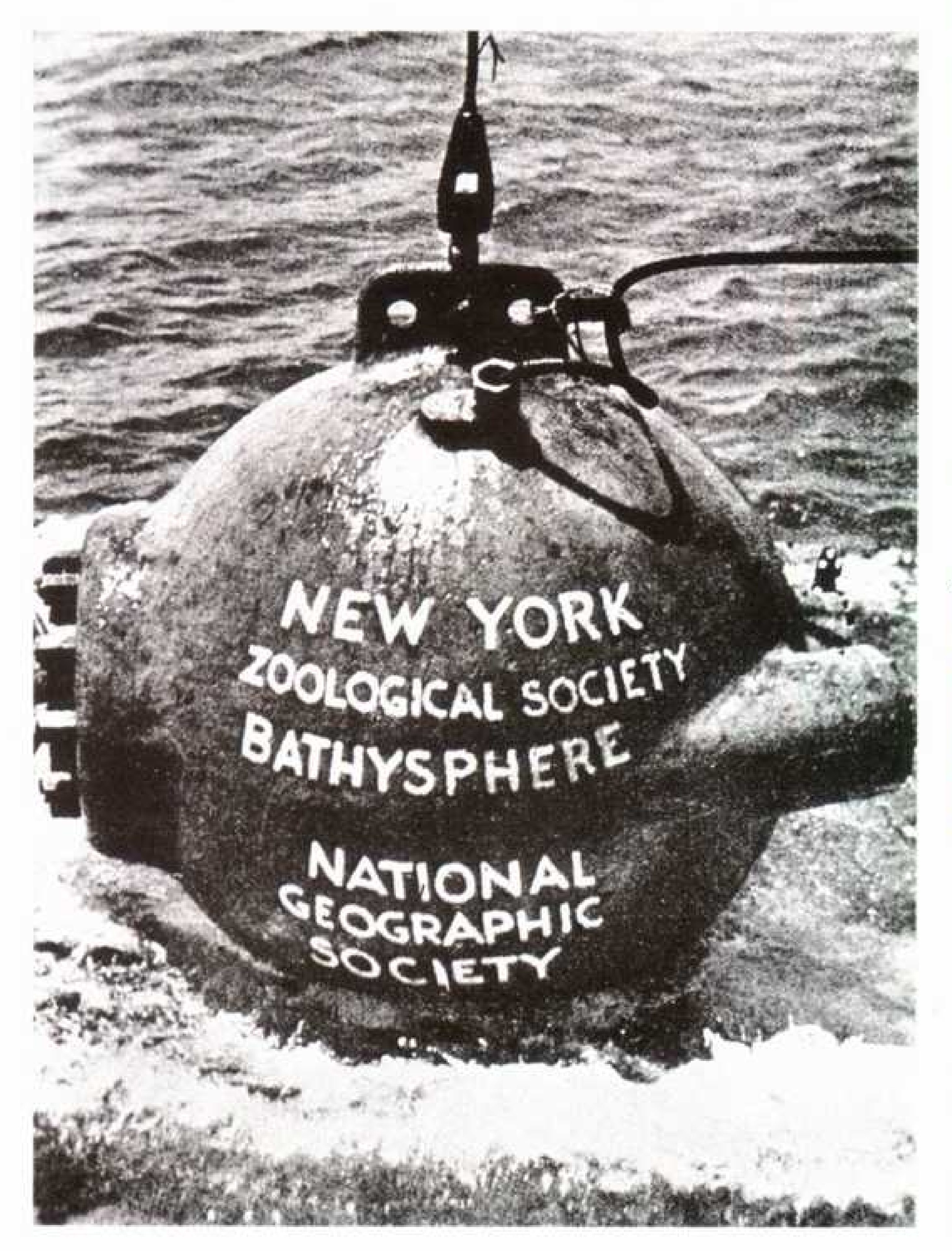


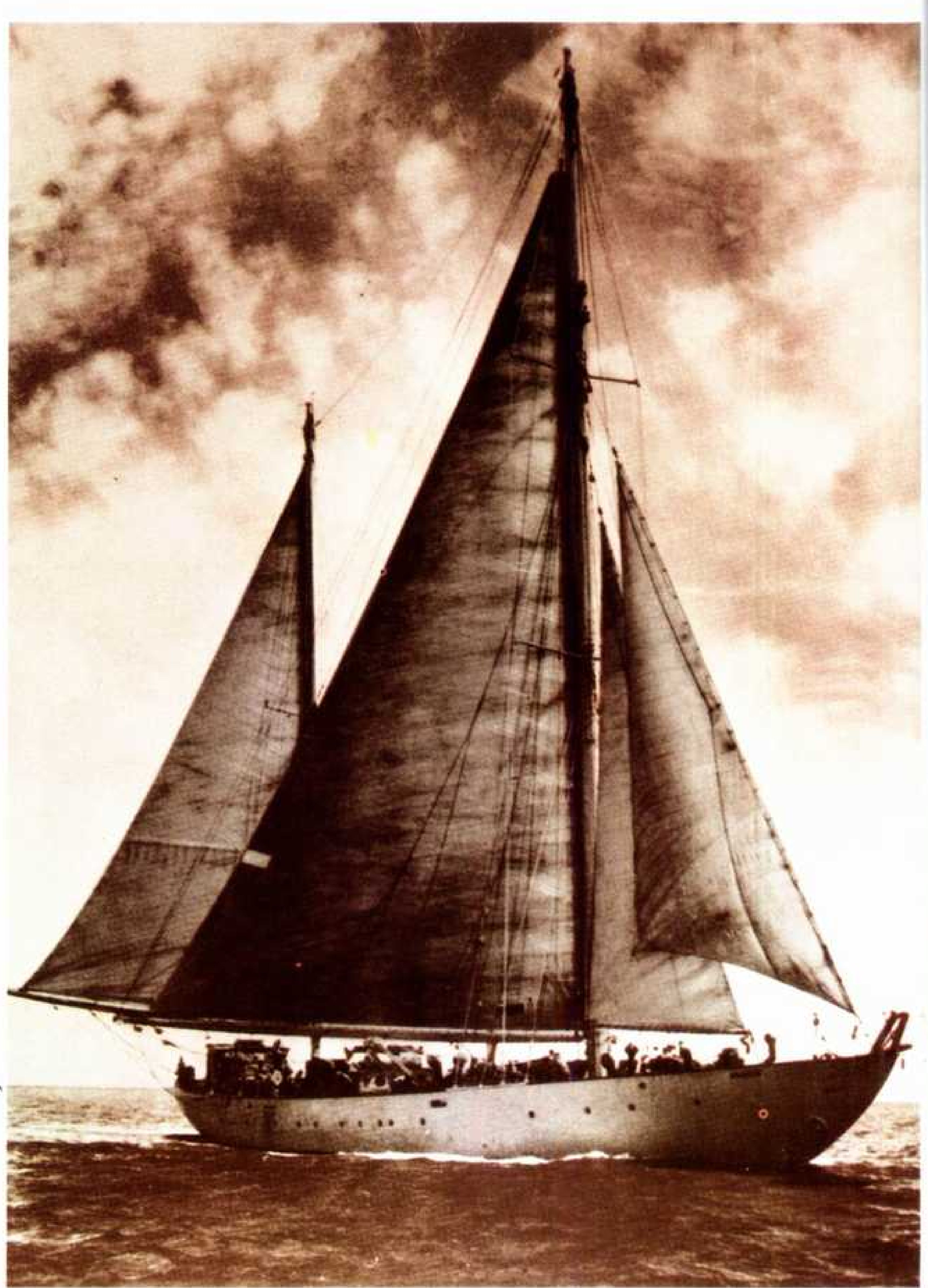
El estudio de los abismos

La mayoría de las expediciones oceanográficas intentaban estudiar el corazón del océano calando sus aparatos de medida y de obtención de muestras desde la superficie. Pero, ya desde hacía años, algunos espíritus inquietos pretendían que era mejor llegar literalmente hasta él... Después de la primera guerra mundial fueron tantas las prestaciones conseguidas en los submarinos, que este objetivo no pareció ya tan utópico. El holandés A. F. Vening Meinesz, por ejemplo, que trabajaba en colaboración con Hariss Hess, decidió utilizar un sumergible para medir mejor la profundidad de las fosas oceánicas. Pensaba, con razón, que los buques clásicos, con sus cabeceos y bamboleos, falseaban las medidas. Meinesz y Hess









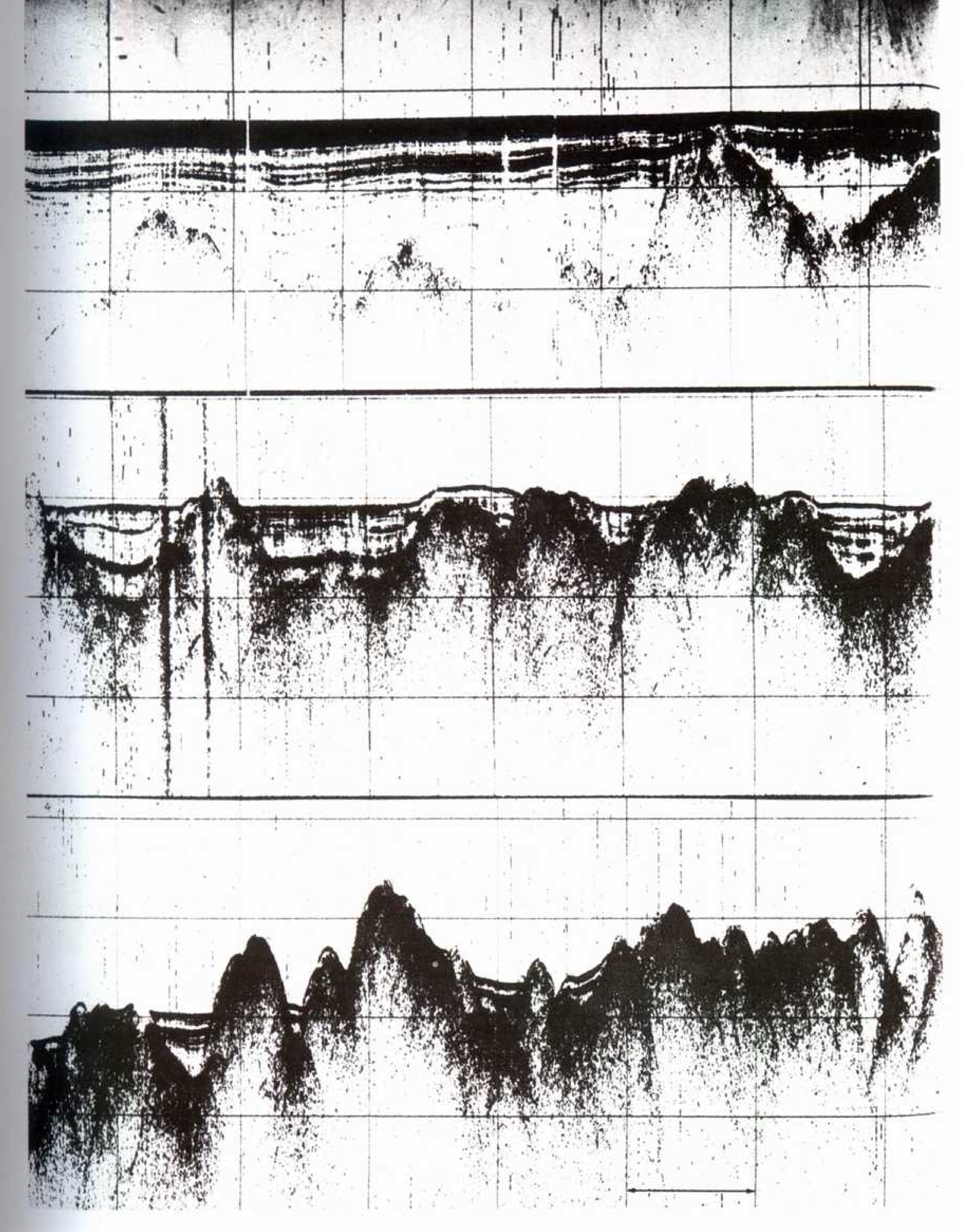
Nuevos materiales. *En el curso de los años veinte y treinta, los científicos comenzaron a estudiar el océano a bordo de sumergibles. Vening Meinesz (el segundo desde la izquierda, en la fotografía central) utilizó un submarino holandés de la serie K, análogo a los de la fotografía superior. La batisfera de Beebe y de Barton descendió a cerca de 1.000 metros en 1934 (aquí, al lado), en el transcurso de una inmersión frente a las costas de las Bermudas. El* Atlantis *(arriba) trazó perfiles del Atlántico Norte que aparecen en los diagramas de la página siguiente.*

emprendieron con éxito mediciones gravimétricas frente a las costas de Puerto Rico, donde se encuentra la fosa más profunda del Atlántico. Sus trabajos permitieron no solamente calcular la altura en la capa de agua, sino demostrar también que el suelo del océano no es homogéneo. Esta comprobación permitió a los especialistas establecer toda una nueva rama de la geografía, basada en las anomalías gravimétricas, y de la que procede una parte capital de las certezas actualmente adquiridas respecto de la estructura interna de la corteza terrestre.

Pero la empresa más sorprendente de la época fue la del americano William Beebe. Este construyó un habitáculo en forma de esfera de acero, capaz de resistir presiones colosales, con la que se sumergió en 1934, a cerca de 1.000 metros de profundidad. Este intento no reportó sino escasos datos sobre las profundidades marinas propiamente dichas; pero abrió el camino a una generación de sumergibles revolucionarios: los batiscafos.

Los americanos, por lo demás, empezaron durante los años veinte y treinta a interesarse por las cuestiones oceanográficas. Armaron el *Carnegie,* con la misión muy en particular de estudiar el magnetismo terrestre; pero este barco se incendió en el puerto de Apia, en las islas Samoa.

En 1927, durante la travesía del *Meteor,* la Academia americana de las Ciencias, alarmada por el retraso que su país llevaba en el estudio del mar, dio un decisivo impulso a la investigación, como hacen siempre los americanos cuando se proponen algo. Thomas Wayland Vaughan fue el artífice de la transformación del observatorio de biología marina de la Universidad de California, en La Jolla. Este centro, dotado de créditos importantes, se convirtió en la poderosa Scripp Institution of Oceanography. Frank B. Lillie dio un giro también radical al laboratorio de biología marina de Woods Hole. La Fundación Rockefeller inyectó créditos en este último organismo, creó un centro de investigaciones avanzadas en las Bermudas, financió diversos proyectos por cuenta de la Scripp y dotó a la universidad del estado de Washington, en Seattle.



Durante los años de la gran depresión económica, dichos créditos se redujeron, naturalmente. Pero con la recuperación, la oceanografía americana tomó la delantera. En 1942, H. Sverdrup, Martin W. Johnson y Richard H. Fleming publicaron una obra que se ha hecho clásica: *The Oceans.* Se trata del primer manual exhaustivo sobre el tema. Los resultados de las campañas del *Carnegie* figuran en este libro, pero también los de las misiones financiadas por los europeos. La Woods Hole pronto pudo contar con un barco propio, el *Atlantis,* y sus investigaciones se ampliaron. Durante la segunda guerra mundial, los oceanógrafos vivieron, por así decir, a la sombra de los militares. Se desarrollaron las técnicas de detección marina (con la invención del sonar), y todos los descubrimientos referentes a las corrientes, la topografía de las cuencas, las mareas, etc., fueron declarados materia estratégica.

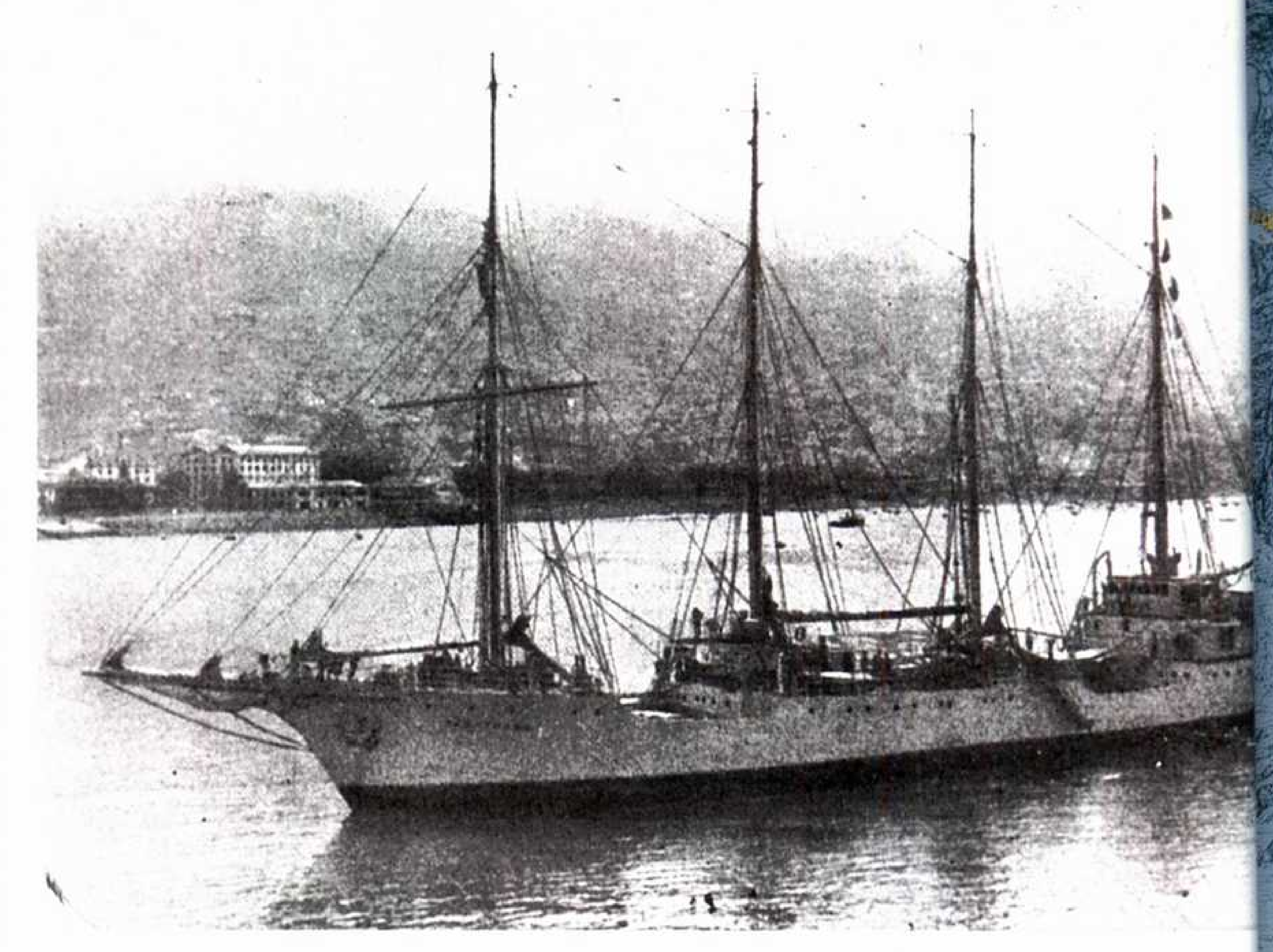
Al finalizar las hostilidades, los estudiosos volvieron a la actividad civil. Y recibieron autorización para publicar la mayor parte de sus anteriores descubrimientos. Las revistas científicas ofrecieron cada vez más informes de los trabajos oceanográficos. Y se intentó precisar, cada vez más, cada capítulo de las ciencias del mar. Los especialistas se vieron precisados a especializarse más todavía. En una palabra, la oceanografía conoció una expansión similar a la de las demás disciplinas. Los estudiantes elegían campos de investigación cada vez más reducidos: unos consagraron sus esfuerzos a las técnicas magnetométricas, otros a la química de los oligoelementos del agua de mar, otros, finalmente, a tal orden de crustáceos o a determinada especie de peces... Al tiempo que se investigaba cada vez más el mar como fuente de alimentación humana se comprobó que la investigación en el fondo de las aguas condiciona el desarrollo de la geofísica. Y mientras los especialistas en mamíferos marinos clamaban por que se detuviera la caza de las ballenas, y se creaba la Comisión Ballenera Internacional, se asistía a los primeros desastres de la contaminación. Se delineaba así toda la oceanografía moderna. Sin embargo, eran pocos todavía los gobiernos y las sociedades realmente persuadidos del interés de las investigaciones marinas.

Las grandes circunnavegaciones

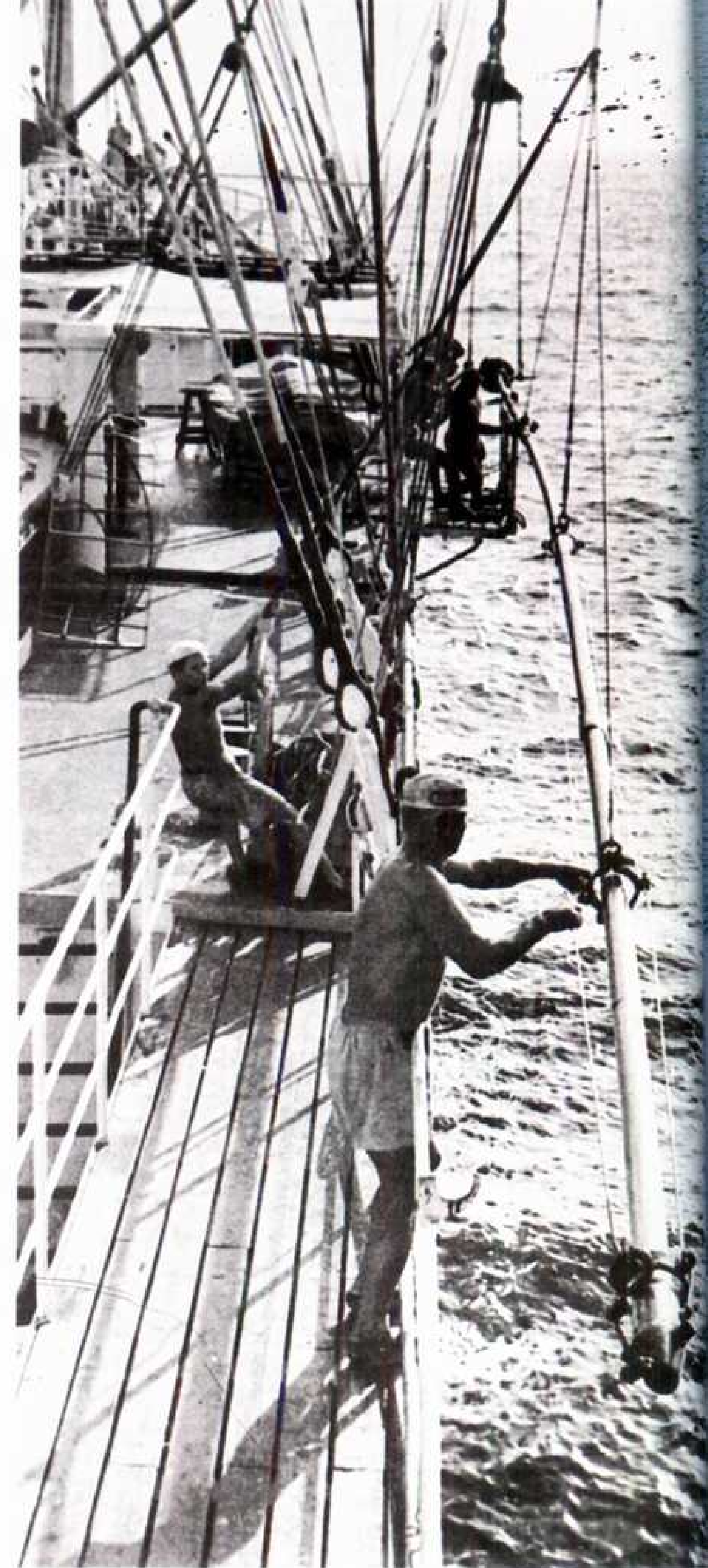
ALGUIEN, bromeando, le dijo un día a Hans Pettersson, el hijo de Otto Pettersson, que tenía agua de mar en las venas. No le faltaba razón. El joven Hans se había preparado desde muy joven para seguir los pasos de su padre, especialmente en el estudio de las propiedades físicas del agua oceánica, y en el del movimiento ondulatorio. Pero en el transcurso de una temporada de estudios en Londres, se encontró con John Murray, el famoso coordinador de la expedición del *Challenger*, y se apasionó a su vez por la biología marina.

Nombrado profesor de oceanografía en su país, en Göteborg, Hans Pettersson puso manos a la obra. Apelando a la buena voluntad de algunos, movilizando energías, no vacilando en halagar el orgullo nacional de sus conciudadanos cuando hacía falta, reunió los fondos suficientes para armar un buque de investigaciones sin tener que pedir nada al estado. En vísperas de la segunda guerra mundial todo estaba preparado: el *Albatross* (tal era el nombre del barco) estaba aparejado y cargado de instrumentos. La declaración de guerra retrasó siete años el viaje; pero esto, paradójicamente, fue una ventaja, pues Pettersson pudo integrar a su potencial de investigación todas las técnicas revolucionarias (sonares, etc.) que los militares habían puesto a punto.

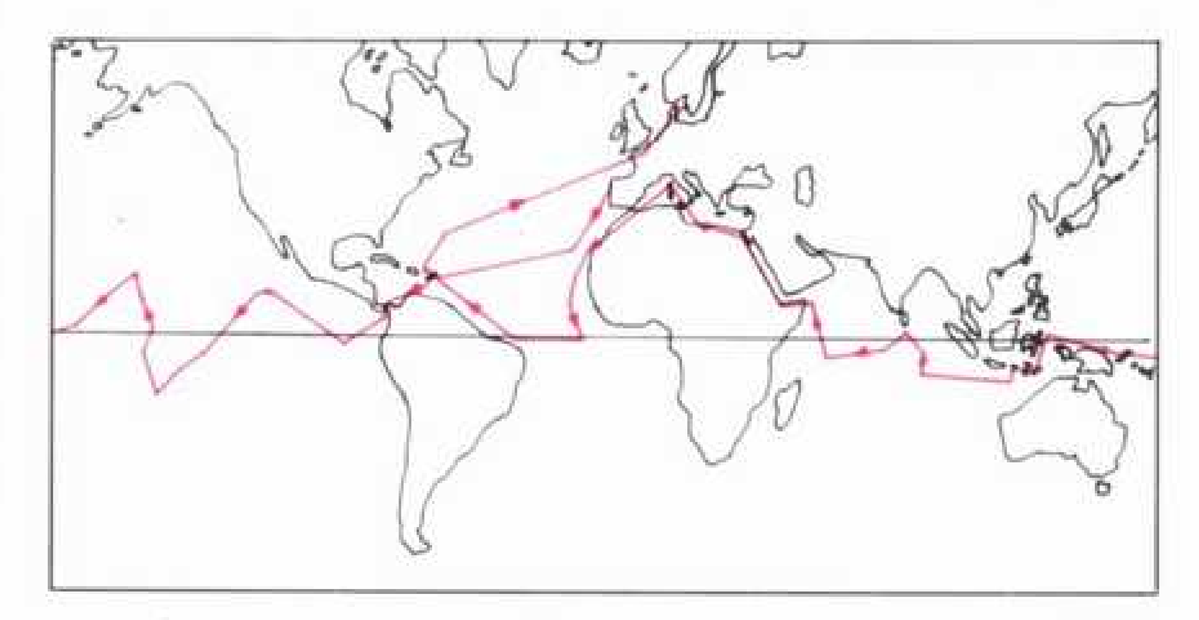
El *Albatross* fue dotado de ecosondas y de aparatos de captación de las ondas sísmicas. También de un sacamuestras especialmente proyectado para obtenerlas en los fondos sedimentarios, aparato que había concebido Börje Kullenberg. El barco zarpó de Göteborg el 4 de julio de 1947 y volvió a puerto el 3 de octubre de 1948, con un día exacto de adelanto sobre la fecha prevista. El viaje permitió precisar la composición de los fondos de numerosas regiones del océano, especialmente en los parajes tropicales, y finalizó con el análisis de toda una serie de lodos, especialmente de los abundantes en foraminíferos. Demostró también que la vida es posible incluso a grandes profundidades. Y fue de gran importancia para el conjunto de la biología marina. Finalmente, gracias a esta campaña, se tuvo una idea más completa de la naturaleza de la corteza terrestre sobre la que descansan los océanos. Por primera vez se pudo demostrar que está formada principalmente de basaltos, y que es mucho más delgada que la corteza continental: apenas de 9 a 10 kilómetros de espesor. Esta comprobación sugirió a los científicos penetrar esta corteza mediante perforación profunda: es lo que se llama el «Proyecto Mohole», que geofísicos y oceanógrafos siguen incluyendo aún en sus programas, sin haberse llevado a cabo todavía.

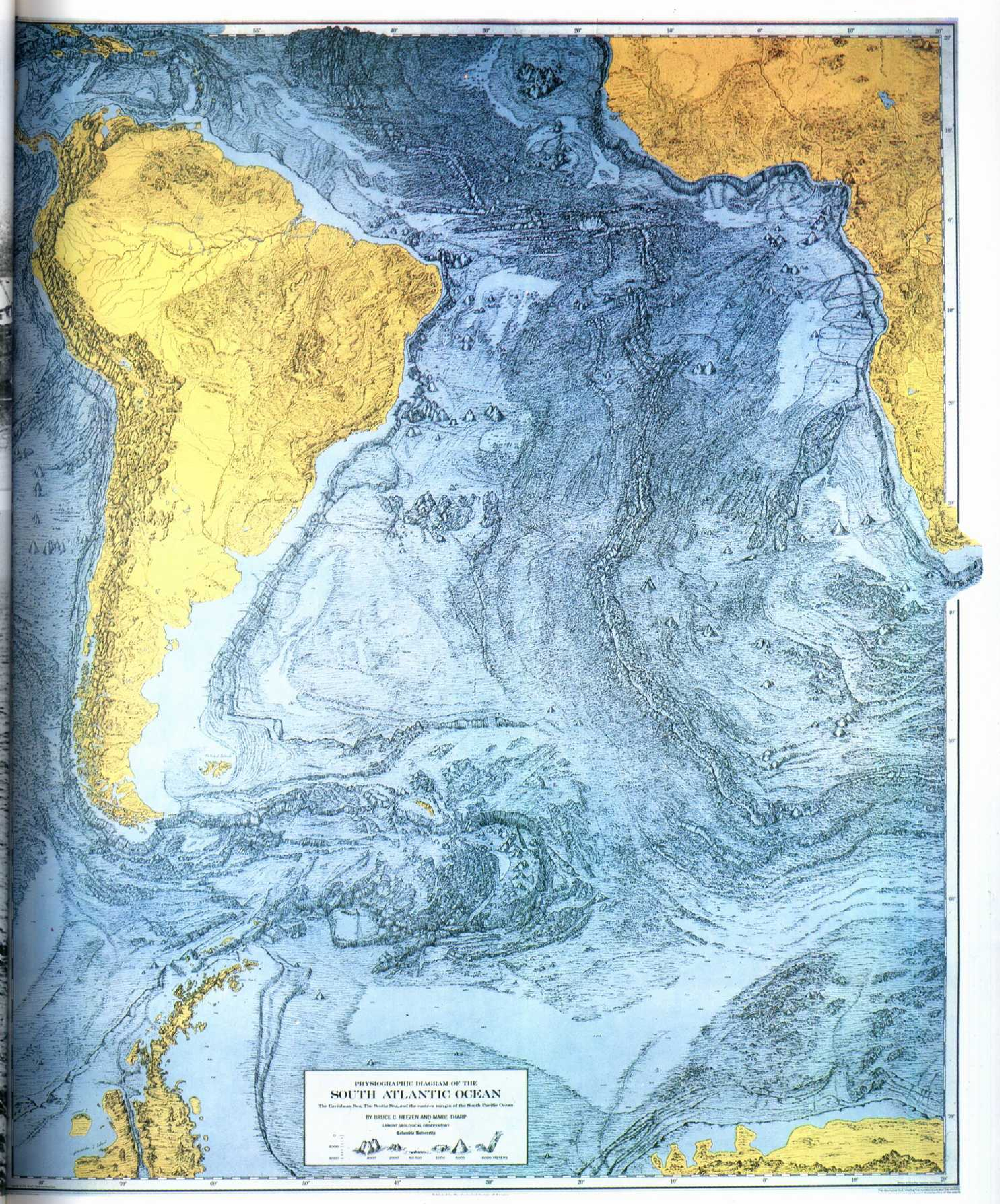






El Albatross. *Las campañas del* Albatross *sueco, bajo la dirección de Hans Pettersson (encima), fueron muy fructíferas. El barco (arriba) estaba equipado con numerosos aparatos de recogida de muestras; entre otros, el sacamuestras de pistón de Kullenberg (a la derecha). En la página siguiente: mapa de los fondos del Atlántico Sur, levantado por Bruce C. Heezen y Martie Tharp.*

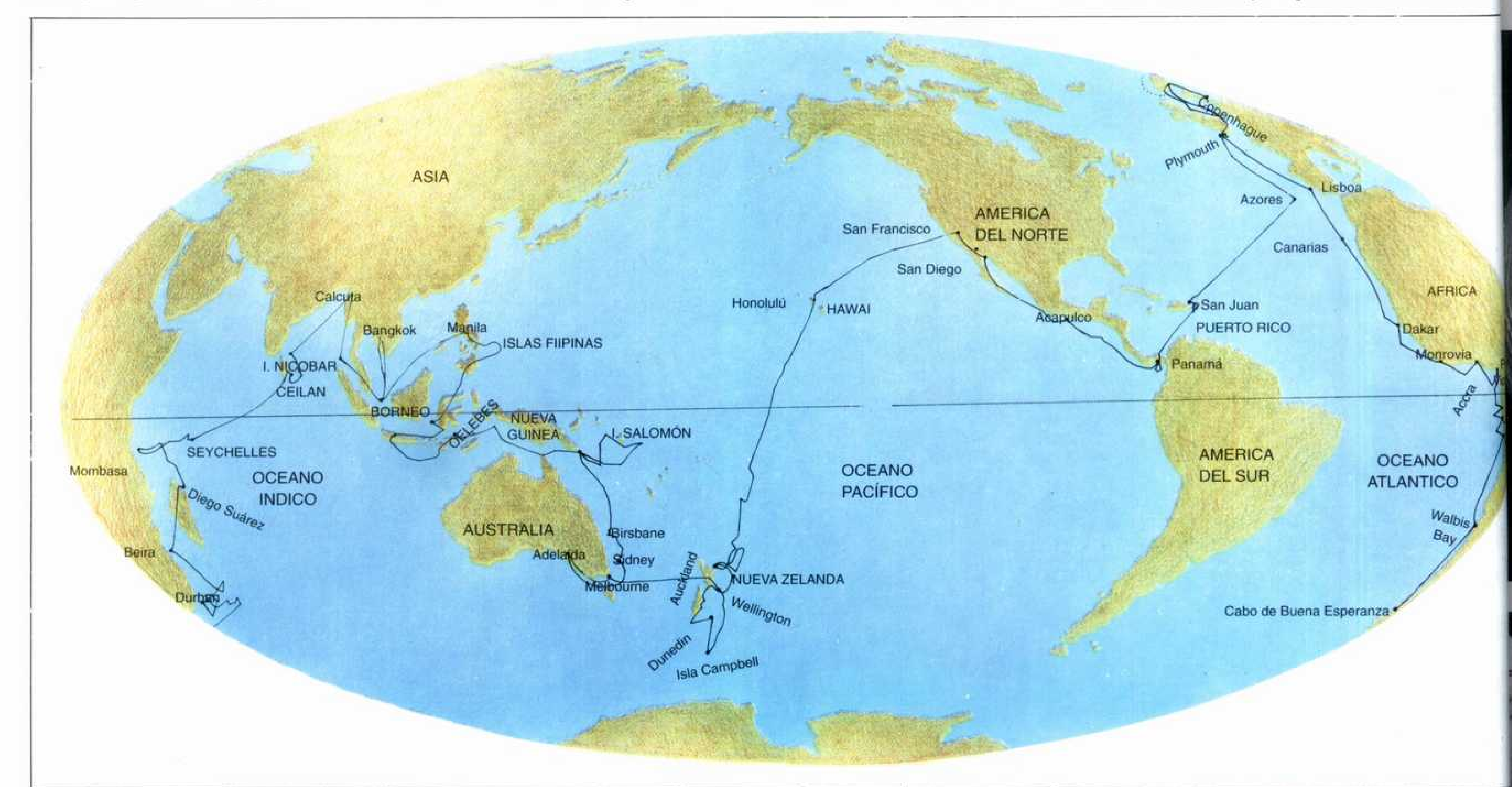



PHYSIOGRAPHIC DIAGRAM OF THE
SOUTH ATLANTIC OCEAN
The Caribbean Sea, The Scotia Sea, and the eastern margin of the South Pacific Ocean
BY BRUCE C. HEEZEN AND MARIE THARP
LAMONT GEOLOGICAL OBSERVATORY
Columbia University

El viaje del *Galathée*

HABÍA apenas el *Albatross* regresado a puerto, cuando los daneses botaron un nuevo buque de sondeo y de diversas investigaciones marinas, adaptado más en particular al estudio de la fauna bentónica. Este barco era el heredero directo del *Dana* de Schmidt. Pero incorporaba los últimos adelantos de la tecnología y de la ciencia de muestreos y mediciones. Se le llamó *Galathée,* en recuerdo del primer barco oceanográfico danés del mismo nombre, que había surcado los mares un siglo antes. En realidad, el *Galathée* era una fragata británica, la *Leith,* transformada para la ocasión. Se le dotó de todos los medios técnicos imaginables; por ejemplo, para el dragado de las fosas más profundas contaba con un cable metálico de 12.250 metros de longitud. Anton Bruun, quien había sido asistente de Schmidt durante las campañas del *Dana,* fue nombrado director científico de la misión. También el capitán del barco, Sven Graeve, era un antiguo tripulante del *Dana.* Hombres tan experimentados garantizaban el éxito de la expedición. El barco estaba financiado con aportaciones privadas, pero los hombres de la tripulación y los investigadores trabajaban a cuenta del presupuesto del estado danés. Como todos los científicos de la época, Bruun esperaba, a cada dragado, sacar algún espécimen zoológico extraordinario. ¿Por qué no un fósil vivo: un trilobites o algún otro animal que se consideraba perdido desde el Paleozoico? No se encontraron trilobites, pero se pescaron criaturas de todo punto extrañas. En la fosa de las Filipinas, por ejemplo, se recuperaron peces fosforescentes, estrambóticas esponjas, cohombros de mar, crustáceos de las grandes profundidades. Todos estos animales daban prueba de la admirable capacidad de los seres vivos para adaptarse a las más difíciles condiciones. Incluso se terminó por encontrar los fósiles vivientes que andaban buscando: no eran trilobites, sino moluscos, más exactamente unas lapas que desde el Cámbrico se creían extinguidas, las *Neopilina.*

La Unión Soviética, que heredaba la larga tradición de la oceanografía rusa, no quiso quedarse atrás. Y armó al *Vitiaz,* que pretendó fuera el *Challenger* del siglo XX, poniéndolo bajo la dirección científica del biólogo Lev Zentevitch. El barco efectuó un largo periplo por el océano mundial, procediendo a innumerables sondeos, muy especialmente en las

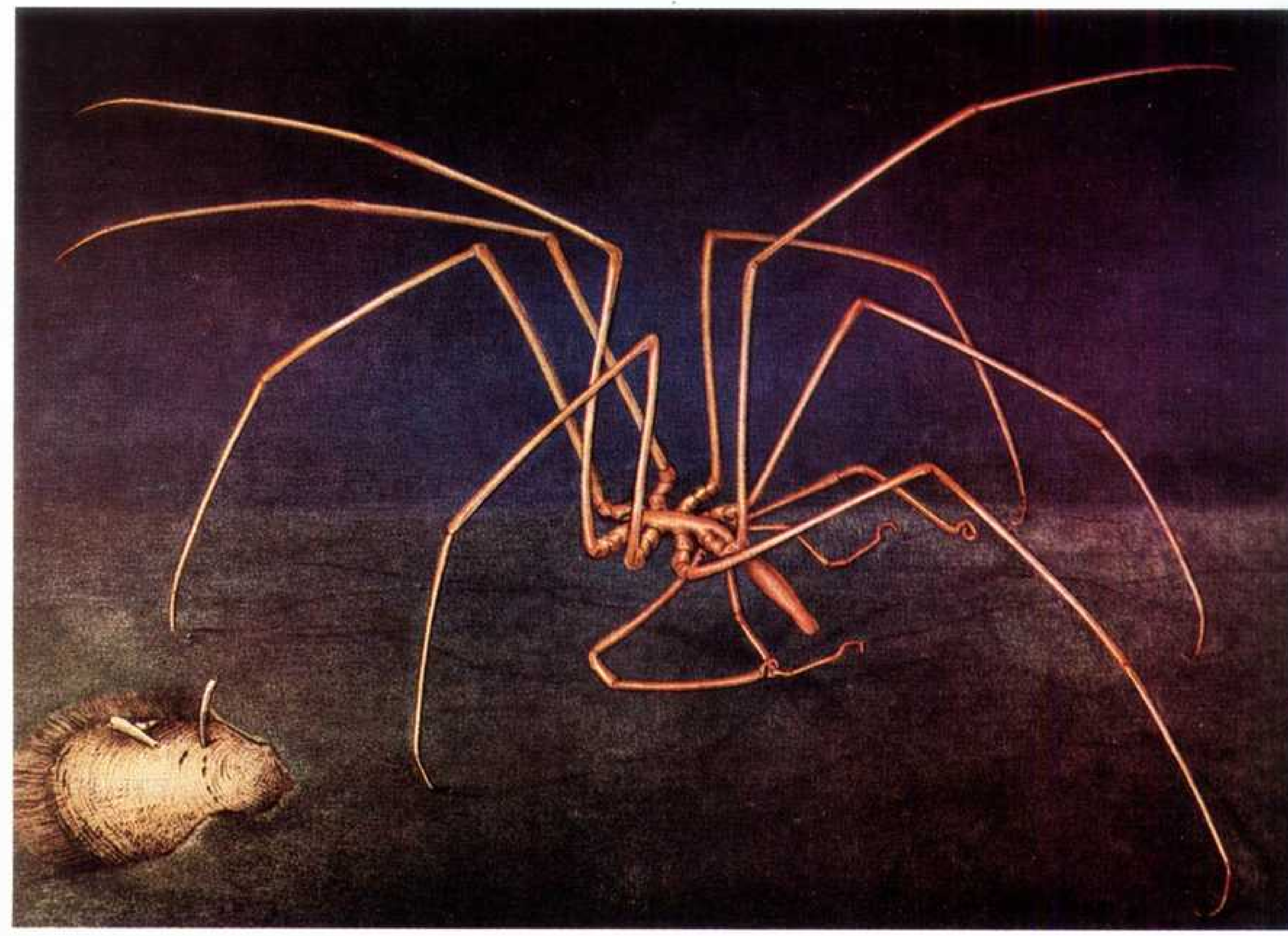


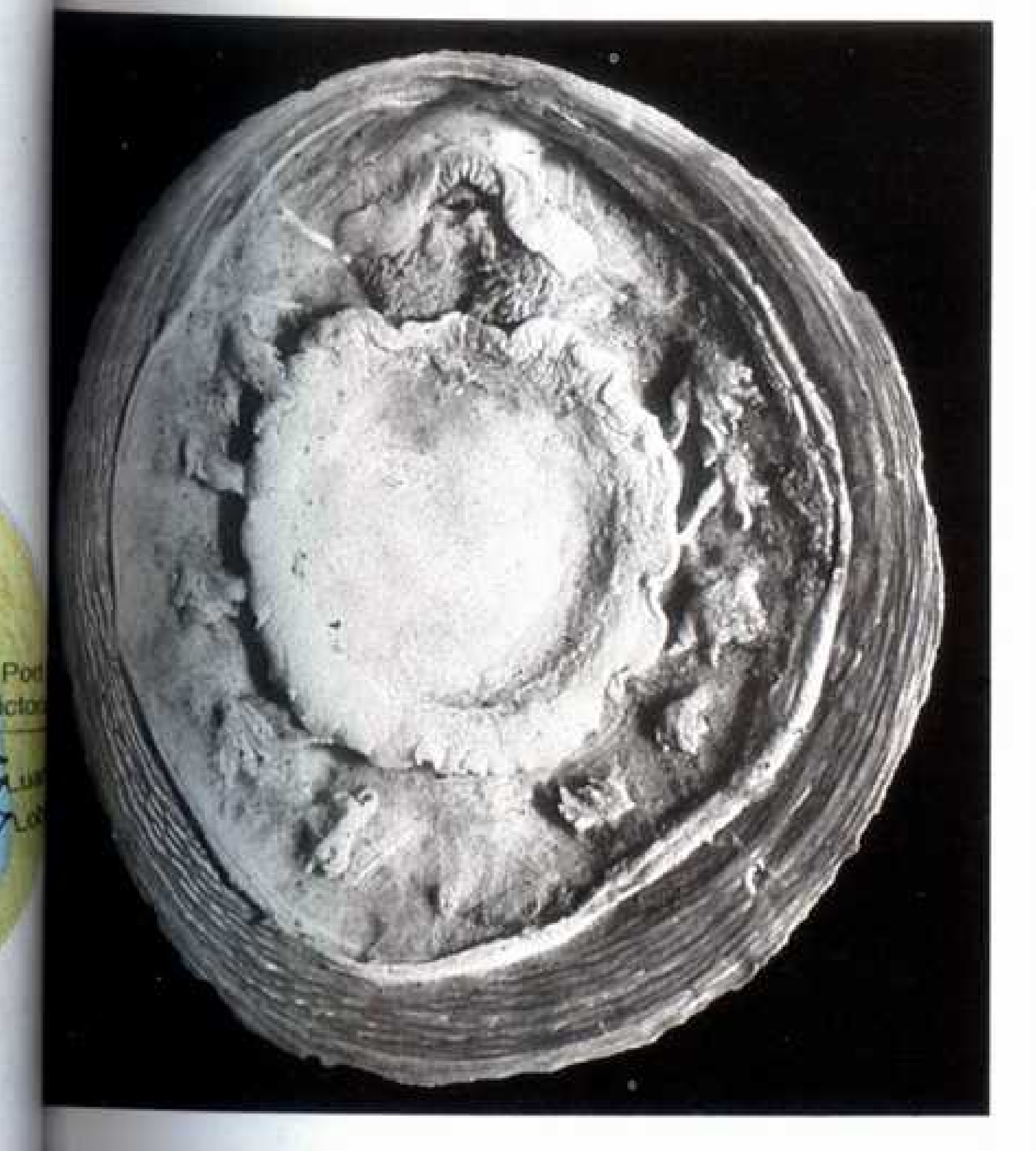


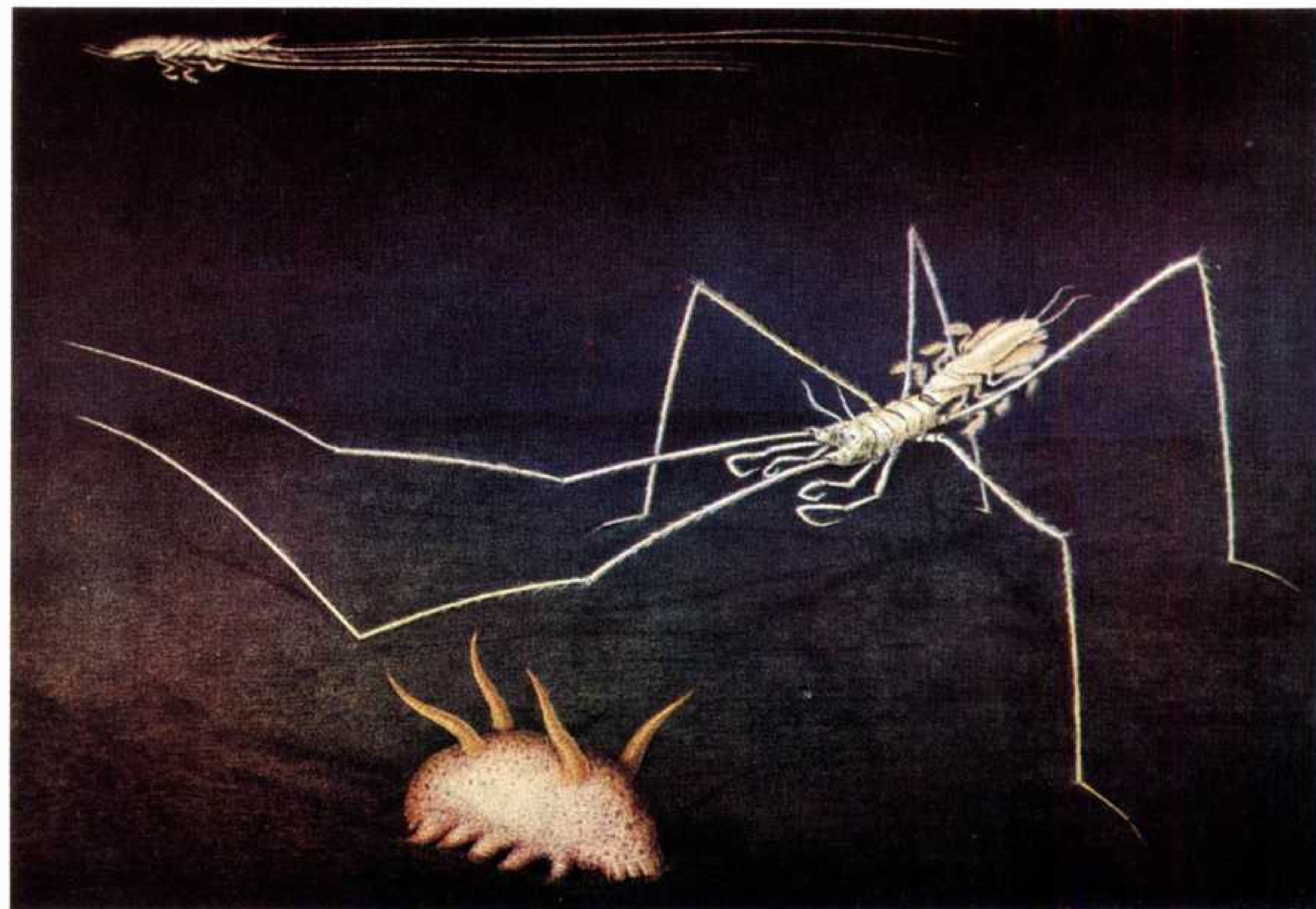


fosas del Pacífico, desde las Kuriles hasta la de Tonga. Los resultados de la expedición del *Vitiaz* apenas fueron conocidos en Occidente.

En los años cincuenta, la oceanografía se desembarazó de sus mitos. Como dijo Anton Bruun: «No hay visos de que esté por ser capturada la serpiente de mar.» Sin embargo, si los monstruos desaparecieron de la mente de los científicos, aparecieron realmente en sus informes: son esos sorprendentes animales de formas, costumbres y biología extrañas. Es casi seguro que todavía no se han descubierto muchas de estas criaturas aberrantes. ¿No se encontró recientemente —en las inmediaciones de un manantial submarino hipersalado, en el archipiélago de las Galápagos— una fauna curiosísima, constituida especialmente por grandes gusanos de un rojo subido?











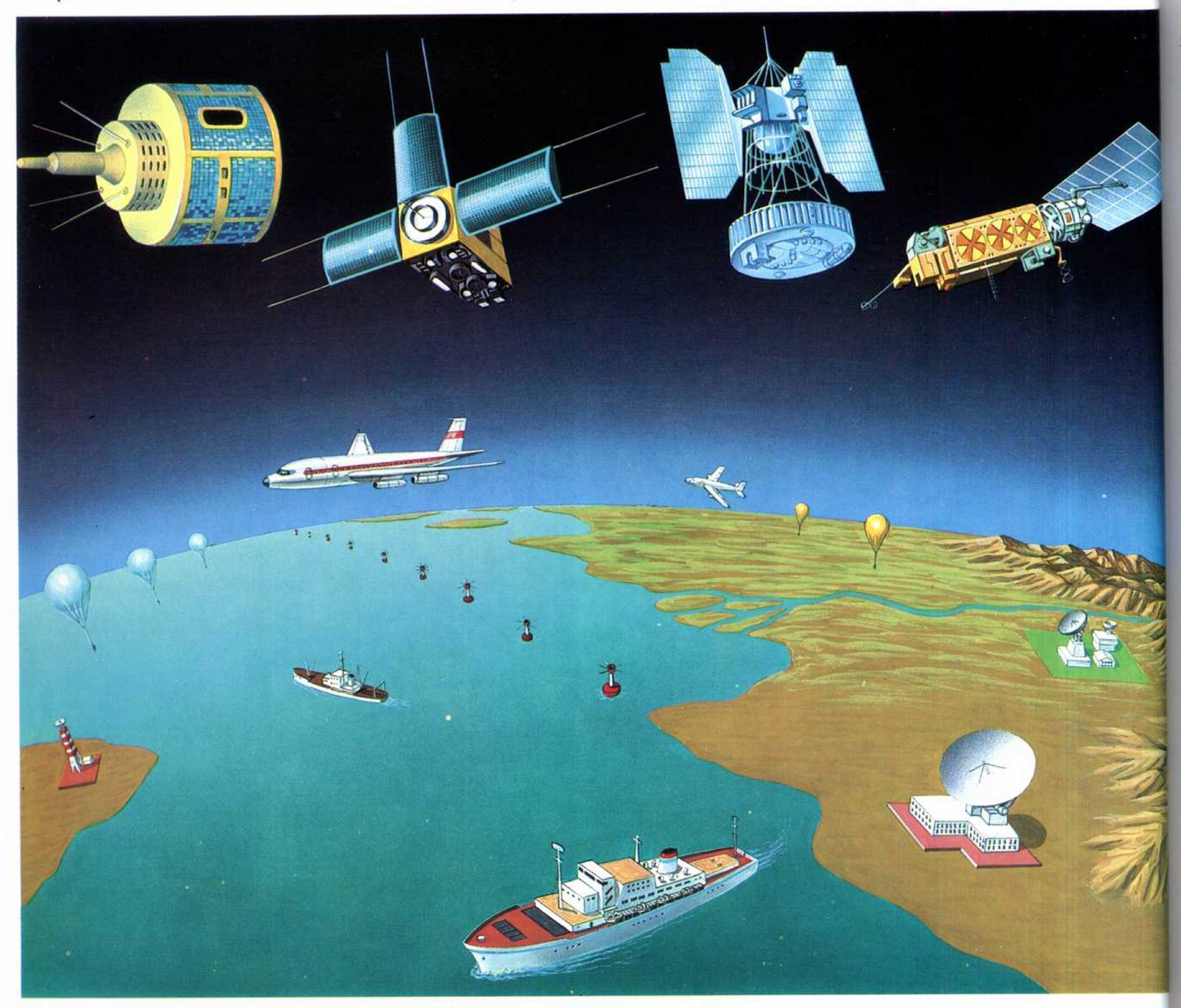
Los organismos de los abismos. *El* Galathée *danés cincunnavegó el mundo consagrándose al estudio de los abismos. En medio: un molusco* Neopilina. *Arriba, a la derecha:* Neopilina *y un picnogónido. En el centro, a la derecha: un molusco nudibranquio y un crustáceo de las profundidades. Abajo, a la derecha, aparecen un lirio de mar, peces fosforescentes y una extrañísima gamba de los abismos.*

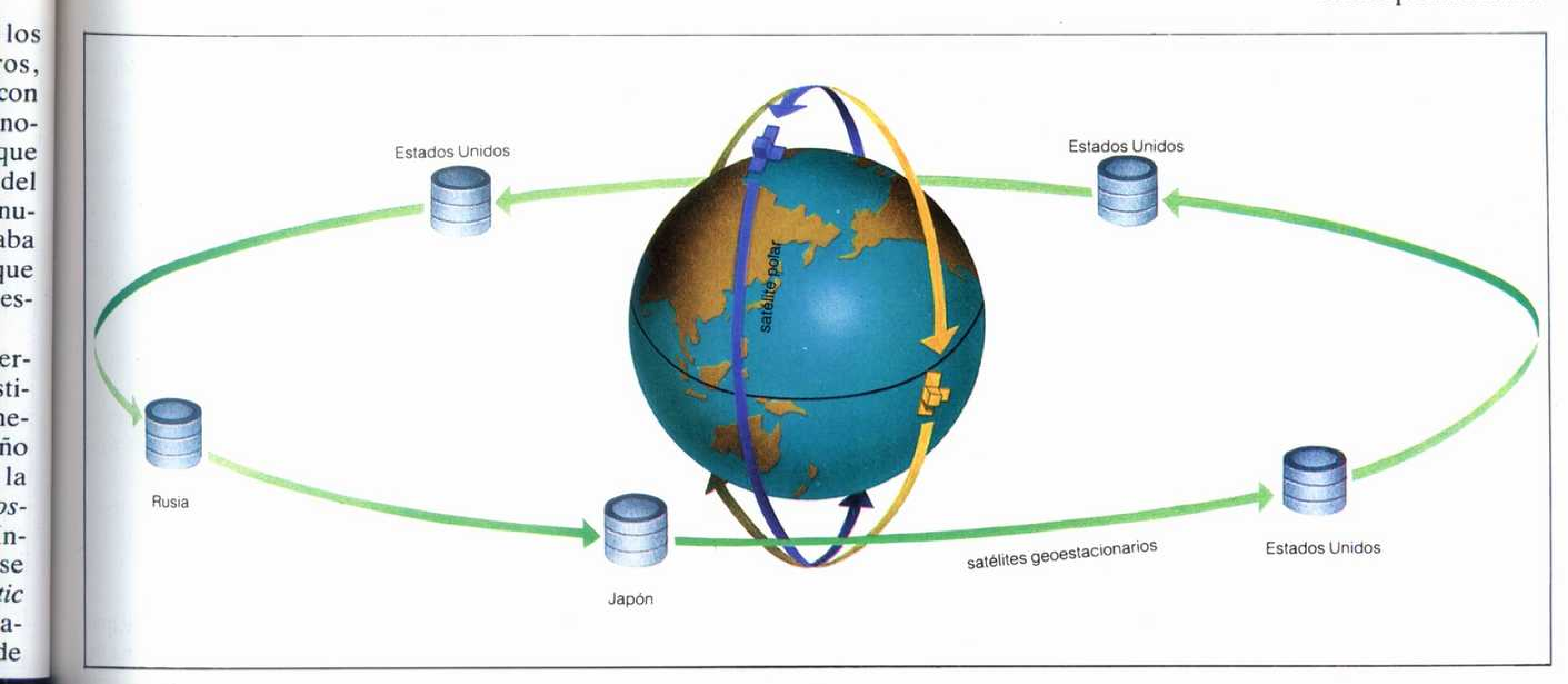
Hacia la oceanografía global

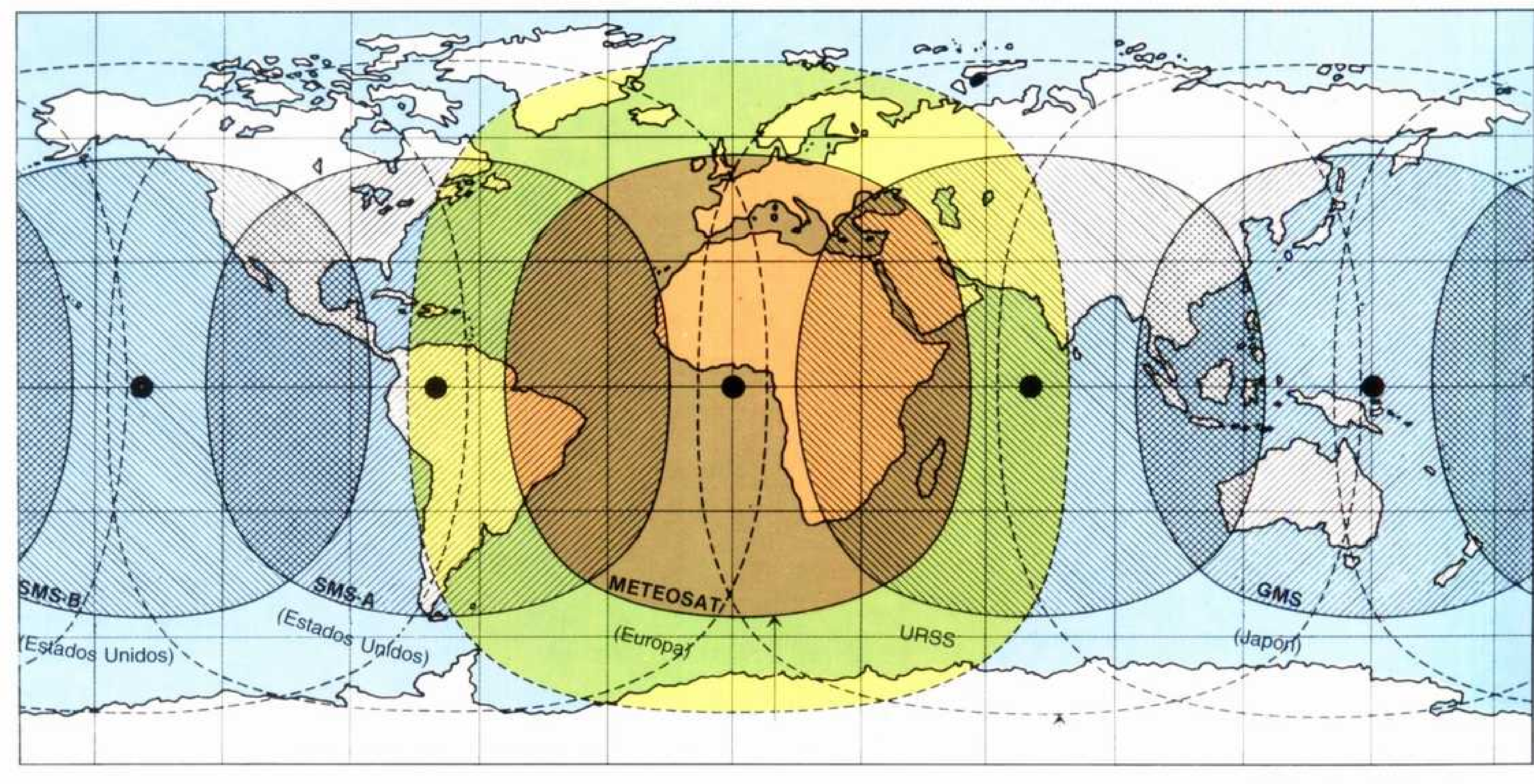
DESDE finales de los años cincuenta, la ciencia de los mares ha dado pasos de gigante; como, por lo demás, todas las disciplinas racionales. Una de las grandes etapas de este desarrollo fue evidentemente el Año Geofísico Internacional que, desde el 1 de julio de 1957 al 31 de diciembre de 1958, movilizó a unos 20.000 investigadores de 66 países para estudiar nuestro globo. Fue entonces cuando se advirtió realmente que el secreto de la historia de la Tierra se esconde en el fondo de los mares. El Año Geofísico Internacional no dedicó muchos estudiosos al trabajo sobre los océanos en sí, pero hizo que se volviera a descubrir la antigua teoría de la deriva de los continentes. Competería a los años sesenta traducir esta última en terminos actuales, y darle un nombre: la tectónica de las placas. El Año Geofísico Internacional puso igualmente de relieve la profunda unidad de los fenómenos oceánicos y atmosféricos, así como la importancia decisiva de esta interacción para la vida misma.

Durante el Año Geofísico Internacional se comprendió igualmente la importancia que revisten los satélites artificiales para la investigación geofísica, meteorológica y oceanográfica. Pronto dieron la medida de sus posibilidades los satélites de exploración *Tyros, Nimbus, Itos,* y más tarde *Meteosat, Seasat* y *Landsat.* Por primera vez, y gracias a ellos, se pudo «tomar el pulso» a porciones inmensas de la atmósfera, de los continentes y de los océanos. Se afinaron los métodos de teledetección y de fotografía alejada (en todas las longitudes de onda posibles), que proporcionaron a los especialistas excelentes instrumentos de conocimiento. Uno de los proyectos de trabajo más fructíferos, inaugurado por el *Calypso* en relación con la NASA, fue el enlace del barco oceanográfico y el satélite artificial, haciendo que el primero probara los instrumentos del segundo y procediendo a análisis minuciosos, mientras el segundo propocionaba considerables cantidades de datos, que permitieron sacar conclusiones a gran escala.

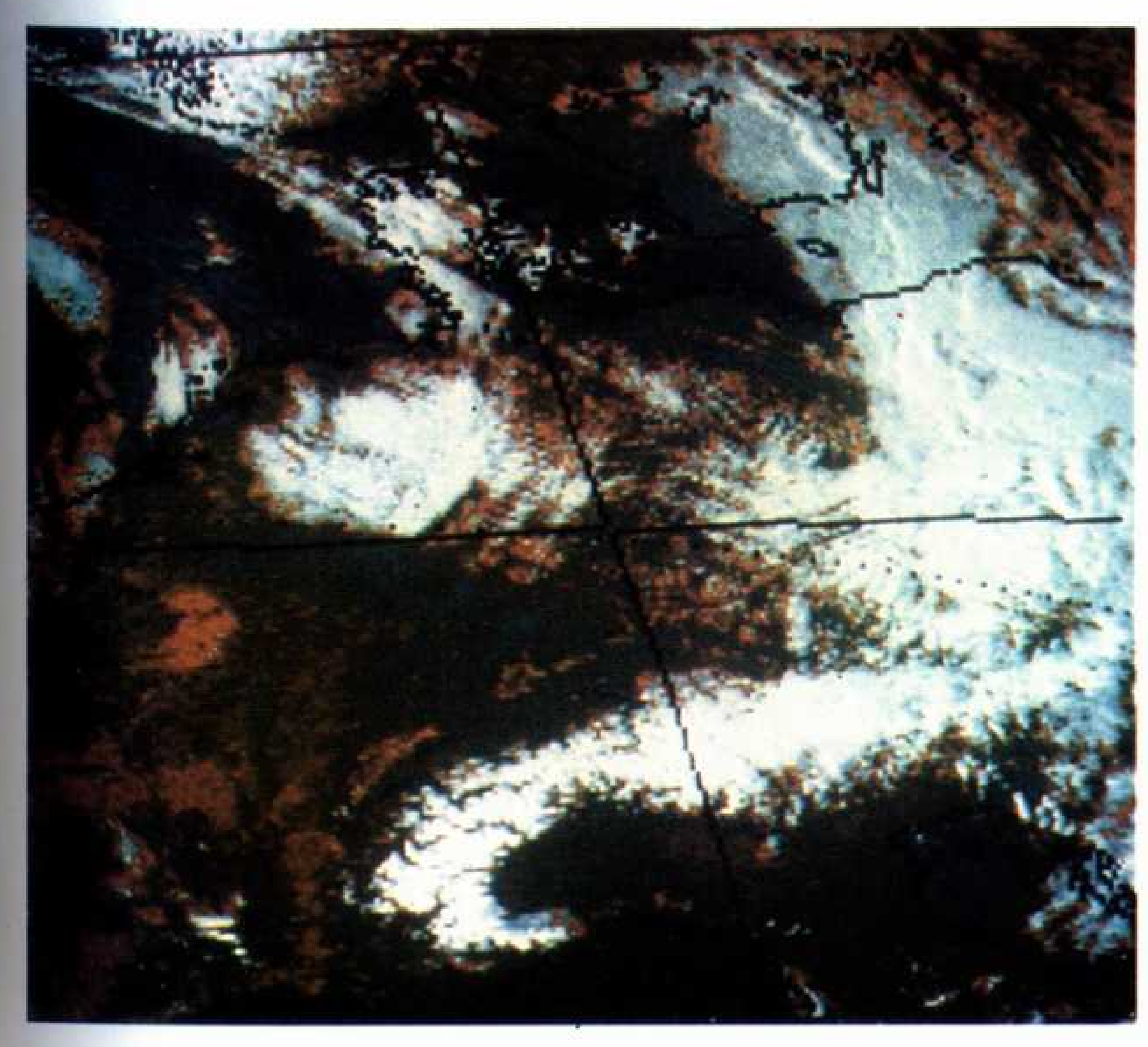
Así llegó el tiempo de los proyectos internacionales y de los programas de investigación, en los que intervinieron numerosos organismos internacionales. El Año Geofísico Internacional había dado la pauta. Se lanzó el *GARP (Global Atmospheric Research Project,* Programa de Investigación Atmosférica Global), y se puso en pie el *GATE (Global Atlantic Tropical Experiment),* en el que participaron 27 barcos, 12 aviones, una veintena de

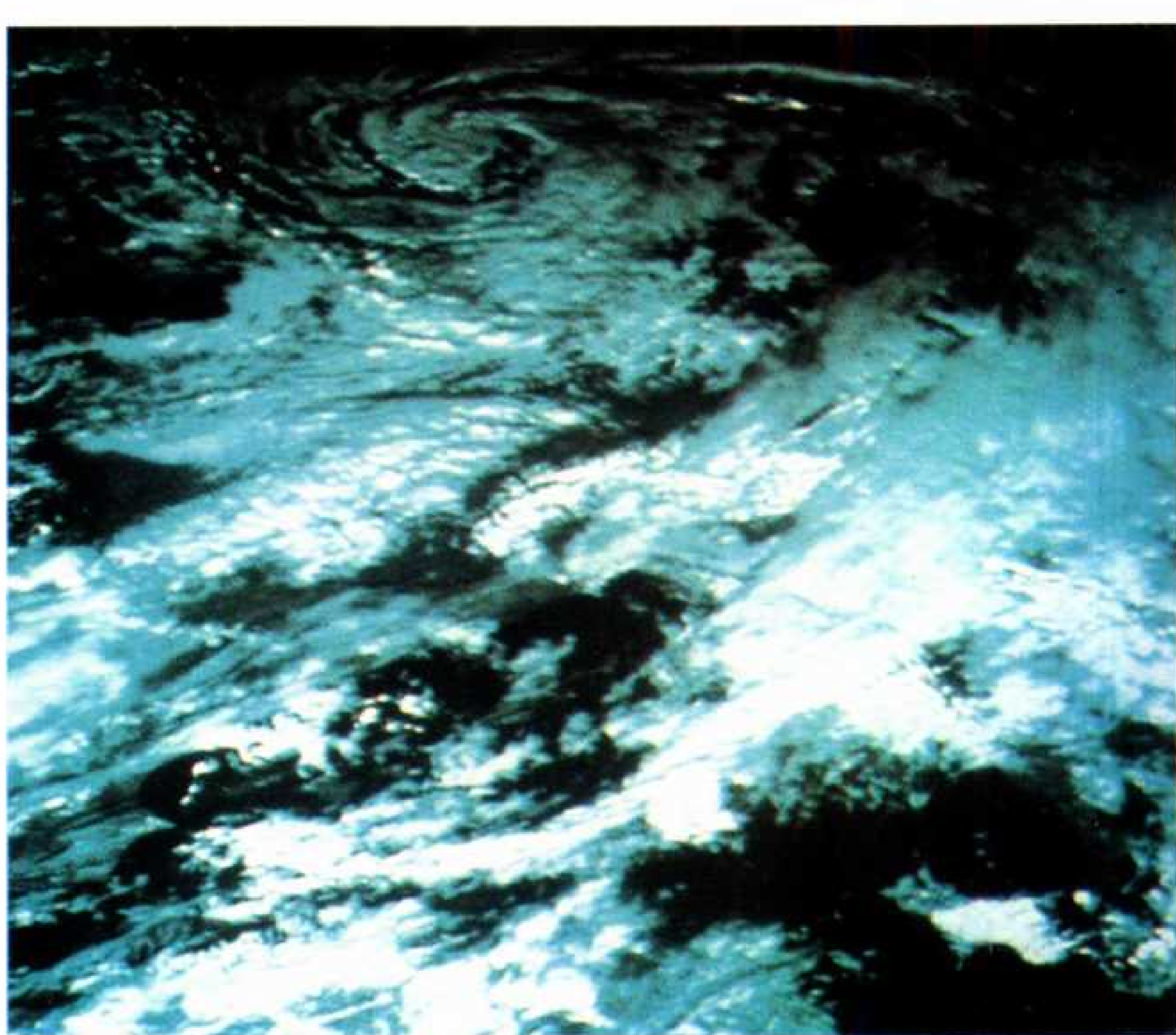




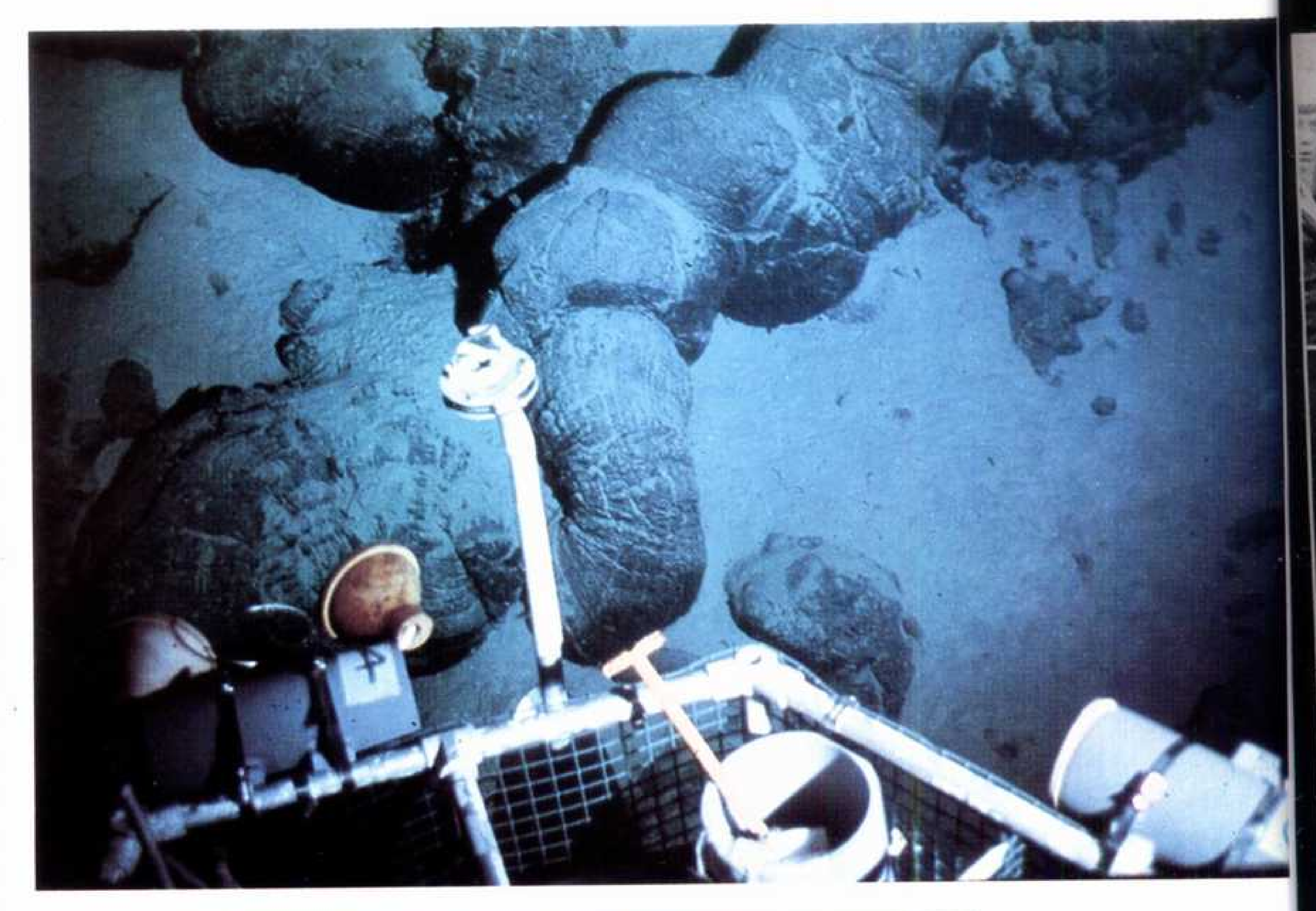


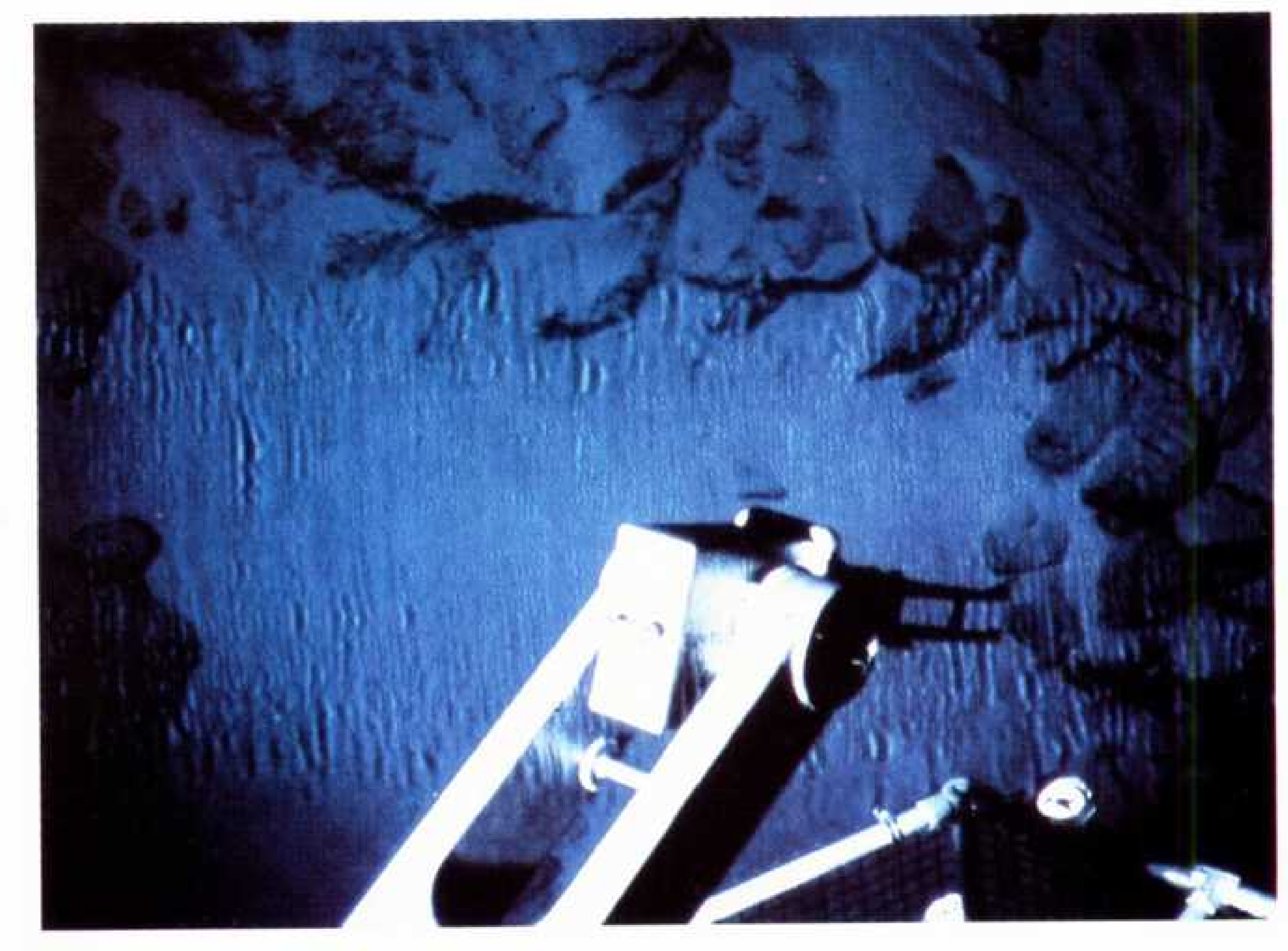
El programa GARP. *Este programa internacional de estudio global del océano y de la atmósfera requiere el empleo simultáneo de numerosos medios modernos: barcos, balizas automáticas, aviones, satélites (esquema de la página anterior). Los satélites puestos a contribución son de diversos tipos (esquemas de arriba y de la derecha), especialmente geoestacionarios y polares. Abajo: dos fotografías de formaciones nubosas tomadas por el satélite norteamericano* Meteosat, *encima de Europa.*






estaciones de radiosondeo, unas treinta boyas perfeccionadas, así como un satélite geoestacionario.
El *GARP* aportó un mayor conocimiento de los fenómenos atmosféricos, especialmente de los que se desarrollan a gran escala. Gracias a este programa se comprendieron mejor los intercambios térmicos entre el océano y la atmósfera, entre las regiones polares y las regiones ecuatoriales, entre la alta y la baja atmósfera. Se puso de manifiesto el proceso de formación de las grandes masas de agua que se encabalgan, se enfrentan o se mezclan, determinando los climas del globo. Tales investigaciones tienen una finalidad eminentemente práctica: mejorar la capacidad humana de previsión del tiempo. Numerosas profesiones dependen de los caprichos de la atmósfera (agricultores, marinos, etc.), y sólo esperan una cosa de la ciencia: que les indique el tiempo que va a hacer con el mayor adelanto posible.
Pero el *GARP* constituye también un programa de investigación fundamental sobre los grandes equilibrios térmicos de nuestro planeta. Desde este punto de vista, interesa a toda la humanidad, sin ninguna otra consideración económica inmediata.
Los barcos oceanográficos, los satélites artificiales, las boyas automáticas, así como las nuevas técnicas analíticas (las de la física atómica, de la química y la biología moleculares, etc.), han hecho que la oceanografía se haya convertido en una ciencia sumamente compleja. Y todas las subdisciplinas de esta ciencia han experimentado igualmente el efecto de estos progresos.
En realidad, la oceanografía tiene un brillante porvenir por delante. Aunque el cúmulo de datos que se poseen sobre el océano sea ya impresionante, no es nada en comparación con lo que se sabrá dentro de poco. En la actualidad, por ejemplo, tenemos una cierta idea sobre el proceso de formación de los mares (gracias a la teoría de la tectónica de placas). Conocemos la estructura general de los océanos, su relieve, sus cadenas montañosas, sus planicies y sus grandes fosas. Disponemos de modelos que nos explican la dinámica de las aguas en función de su temperatura, de su salinidad, de su densidad y de la topografía de los fondos. Entendemos ya en parte los lazos termodinámicos que unen al océano, la atmósfera y la vida. Hemos catalogado, descrito y clasificado un gran número de animales y de plantas enfeudados en las aguas saladas. Hemos puesto de manifiesto las grandes leyes ecológicas que regulan las relaciones entre el mundo físico y el mundo viviente. Finalmente, comenzamos a darnos cuenta de que las actividades humanas, cuando ponen en juego grandes cantidades de cuerpos tóxicos, pueden ejercer un influjo nefasto sobre el conjunto del ecosistema marino.





Cada vez más abajo. *La operación FAMOUS (French American Mid Oceanic Undersea Study), emprendida de consuno por franceses y americanos, tenía por finalidad esencial estudiar las formaciones rocosas que caracterizan al gran rift medio-atlántico. Estas dos fotografías, tomadas merced al sumergible* Alvin, *demuestran que se trata de una zona de extrusión de rocas basálticas.*

Pero cuando queremos entrar en detalles respecto de tales fenómenos, nos damos cuenta de que muchas cosas se nos escapan. La tectónica de las placas sigue estando mal sustentada como hipótesis. Todavía nos faltan por explorar y sondar los grandes fondos en su totalidad. Seguimos equivocándonos en el campo de la meteorología. Casi diariamente pescamos nuevos animales desconocidos. E ignoramos incluso los efectos últimos de la contaminación, de los que somos responsables...
La oceanografía sigue siendo una ciencia abierta, una disciplina en pleno desarrollo. Requiere de nuevos cerebros y de nuevos instrumentos de investigación. También, lógicamente, de importantes cantidades de financiación que se plasmen en naves y aparatos que incorporen todos los avances de la ciencia y de la técnica.
El 23 de marzo de 1968, un extraordinario barco salía de los astilleros de la Global Marine, en Orange (Texas): el *Glomar-Challenger*. Este barco ultramoderno, dotado de todos los instrumentos de obtención de muestras y de medición, está de tal manera proyectado que puede lograr un posicionamiento dinámico en cualquier lugar. Lleva incorporada una torre de perforación, y puede «muestrear» el fondo del océano a través de miles de metros de agua.
Es el prototipo de los barcos oceanográficos de este fin de siglo.
Además de Estados Unidos, otros países han armado análogas unidades de investigación: el Japón, por ejemplo, o Francia con el *Marion-Dufresne*. Este último está concebido también como barco de acompañamiento de un pequeño sumergible, que amplía considerablemente sus posibilidades de trabajo.


Las
Técnicas de
Inmersión

Del sueño a la realidad

Antes de nacer, durante toda su vida fetal, el hombre se encuentra inmerso en el agua. Sin embargo, el medio acuático se torna para él, en lo sucesivo, un medio hostil. La historia de la conquista de las profundidades es la de los instrumentos capaces de asegurar la respiración bajo la superficie. Esta historia comenzó hace muchos siglos: los buceadores en apnea del Mediterráneo, o las *amas* de Japón y de Corea, descendían a varias decenas de metros de profundidad, en busca de esponjas, de ostras perlíferas o de algas. Pronto se trató de respirar bajo el agua con ayuda de una caña de bambú o un tallo hueco de papiro; pero la presión hidrostática es tan grande que resulta prácticamente imposible que los pulmones funcionen en cuanto el pecho se encuentra bajo una capa líquida de... ¡50 centímetros!

El primero que, según la tradición, intentó visitar las profundidades del mar a bordo de una campana de buceo fue probablemente Alejandro Magno. El conquistador bautizó con el nombre de *Colympha* el tonel de cristal en el que los cronistas pretenden que se sumergió. Las campanas de buceo fueron en lo sucesivo utilizadas durante la Edad Media y en la época moderna. En 1716, sir Edmund Halley empleó un ingenio de este tipo, en el que el aire se renovaba parcialmente en el transcurso de la inmersión, gracias a un tubo alimentado por una bomba situada en el barco de acompañamiento.

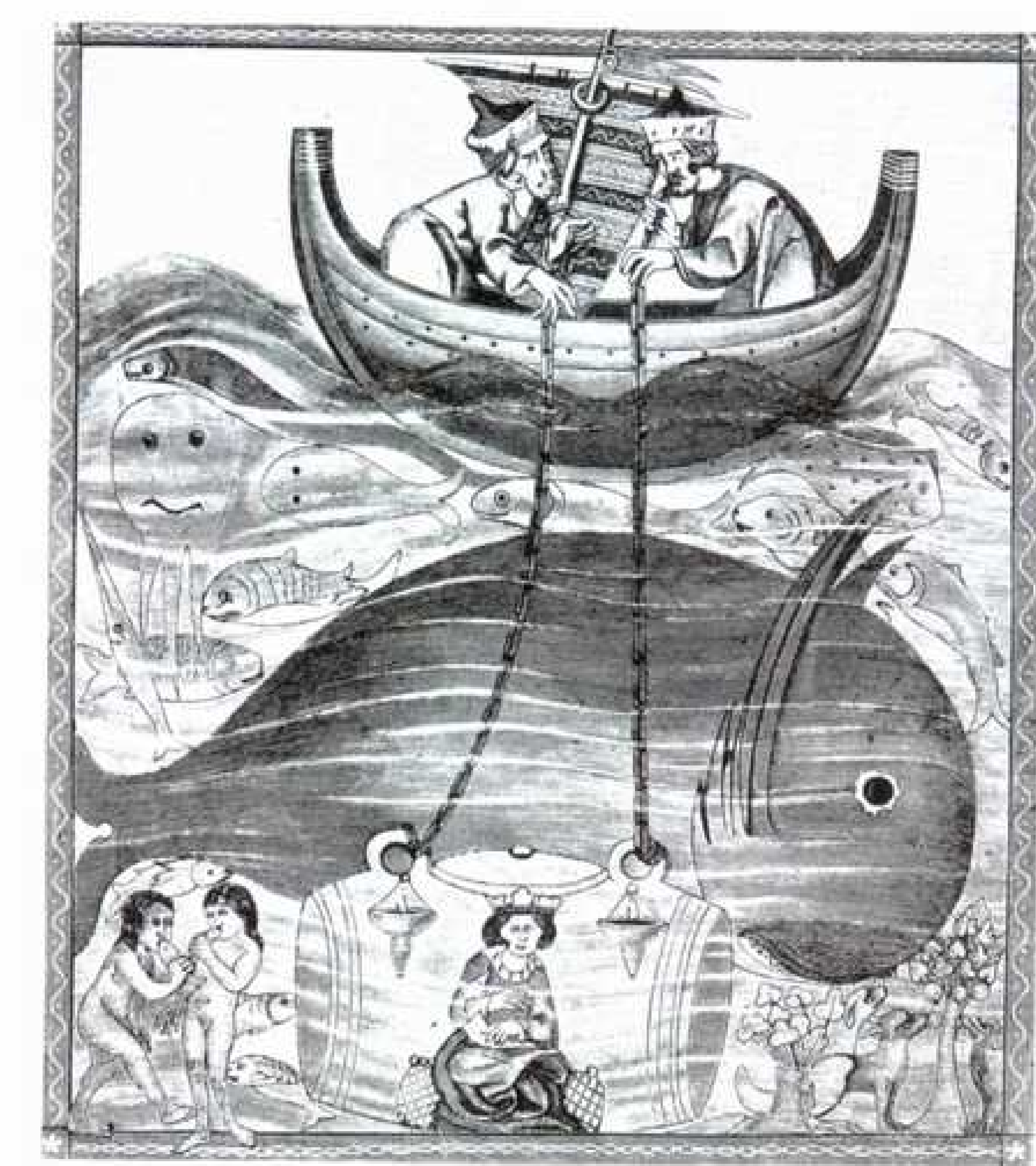
En 1837 se dio un gran paso hacia la conquista de las profundidades, cuando el inglés de origen alemán Augustus Siebe presentó la primera escafandra pesada. Hasta entonces, habían tenido lugar diversas pruebas con la misma finalidad, pero ninguna se había visto coronada por el éxito.

La escafandra de Siebe comportaba ya las principales partes que todavía incorporan las escafandras pesadas; traje estanco más o menos rígido (con dobleces en codos y rodillas para facilitar los movimientos), casco rígido con portillas, calzado lastrado con plomo para asegurar el equilibrio del buceador, y, finalmente, un tubo de alimentación de aire, unido a una bomba en superficie.

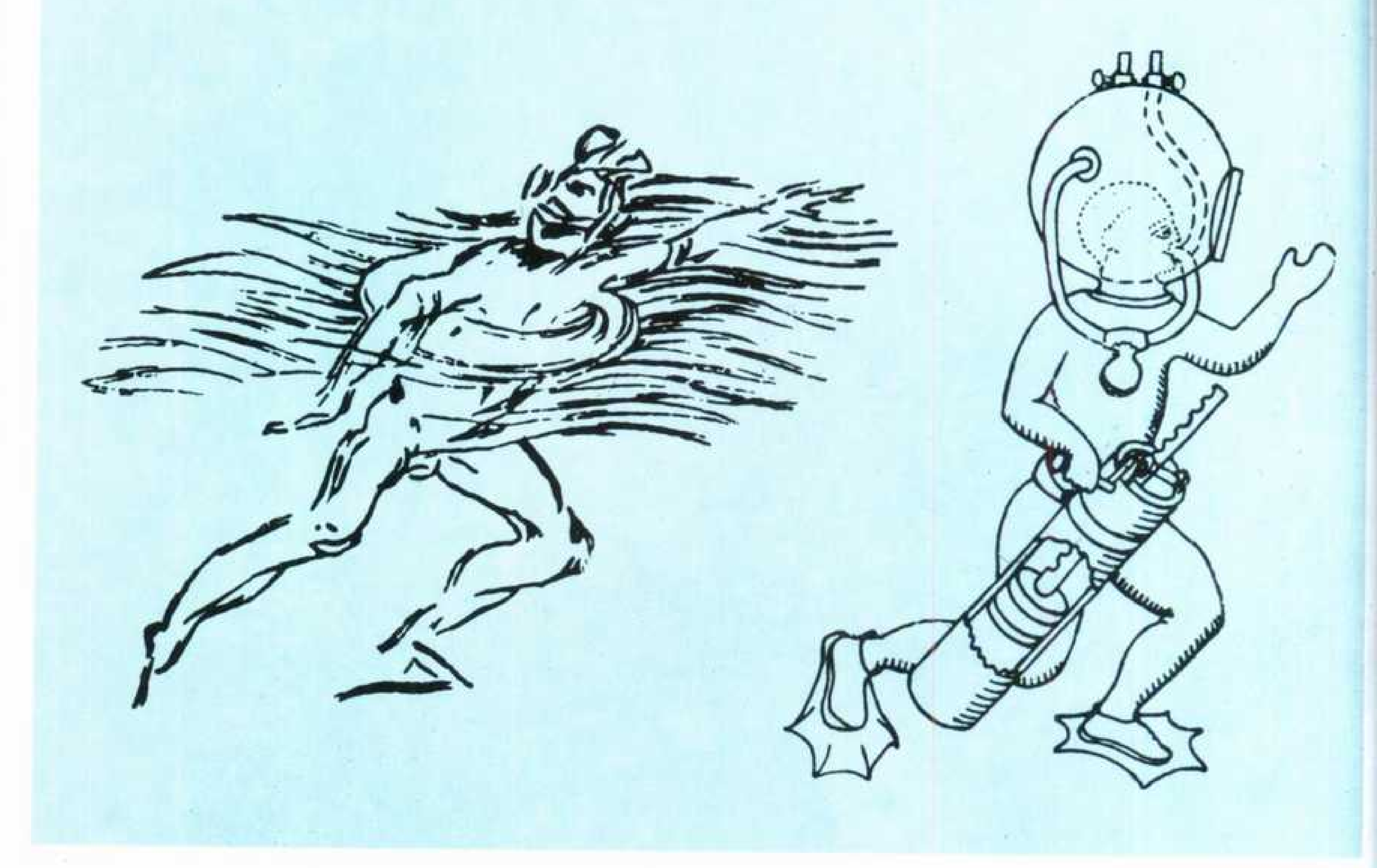
Las escafandras pesadas han prestado indudables servicios, y los siguen prestando todavía. Pero son de muy difícil utilización. Con ellas no son raros los accidentes. No resulta fácil, con una bomba, equilibrar la presión ambiente del agua; pero si este equilibrio no es perfecto, el escafandrista está expuesto a graves accidentes.

La solución estribaba, necesariamente, en un aparato que suministrara al buceador el aire cuya presión equilibre perfec-





Los pioneros. *Desde siempre, el hombre ha soñado con ir a explorar los fondos marinos. No faltan las representaciones de tales intentos, desde los bajorrelieves asirios (arriba) hasta la escafandra con aletas de Borelli (abajo, a la derecha), pasando por el tonel de cristal de Alejandro Magno (aquí, a la izquierda, en una ilustración del siglo XVI) y por la «escafandra» de Leonardo da Vinci (abajo, a la izquierda). Incluso los caricaturistas han abordado el tema (en la página siguiente, arriba, a la izquierda). La primera escafandra articulada se debió a Carmagnole (en la página siguiente, arriba, a la derecha). En el siglo XIX se hizo común poco a poco la escafandra pesada (en la misma página, abajo, a la izquierda), apareciendo pronto la primera escafandra pesada autónoma, puesta a punto por Boutan (en la misma página, abajo, a la derecha), y rápidamente perfeccionada.*

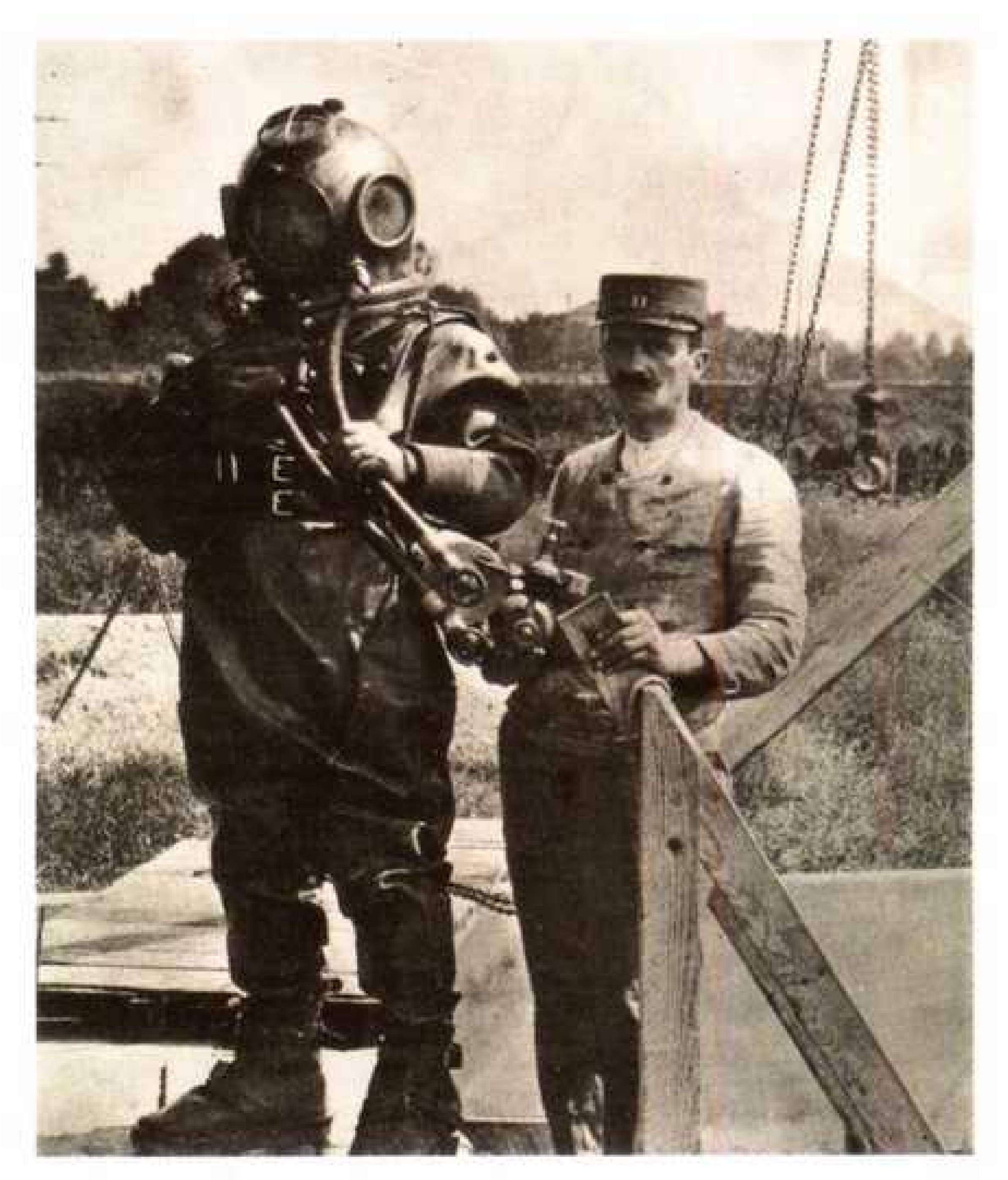


tamente la presión del agua, cualquiera que sea la profundidad alcanzada. El primer gran progreso en este sentido se logró en 1866 con los franceses Benoit Rouquayrol y Auguste Denayrouze, quienes pusieron a punto una botella de aire comprimido dotada de un regulador a voluntad. El hombre se encontraba libre bajo el agua; independiente de los barcos de acompañamiento y de las bombas. Sin embargo, la autonomía del buceador era muy reducida todavía, y el equilibrio de las presiones del aire y del agua seguía siendo muy aproximado.
Los equipos de buceo mejoraron, así como los tanques de almacenamiento del aire comprimido. Numerosas firmas industriales comercializaron conjuntos de trajes y botellas cada vez más eficaces. No obstante, estos sistemas no eran muy confiables. Los escafandristas seguían prefiriendo aún el antiguo y seguro, para ellos, tubo unido a una bomba en superficie.
Paralelamente, los sumergibles llevaban a cabo numerosos progresos. Cuando Beebe alcanzó los casi 1.000 metros de profundidad en su batisfera, se puso en entredicho el futuro de las escafandras. ¿Para qué arriesgar vidas humanas en trajes de buceo poco seguros, cuando era ya posible descender al fondo de los mares a la presión atmosférica, bien protegidos por un caparazón estanco de acero?
Los ingenieros se adentraron igualmente por el camino de mejoramiento de la campana de buceo. Así, el italiano Roberto Galeazzi puso a punto una torreta de acero en la que los hombres podían bajar a trabajar en el fondo del mar sin mayores problemas. Con ayuda de este artefacto, emprendió una famosa campaña de recuperación de los tesoros del barco inglés *Egypt,* que se había ido a pique en el canal de La Mancha a 130 metros de profundidad. Durante unos cinco años, entre 1928 y 1933, Galeazzi y sus hombres trabajaron conforme al método ideado por el ingeniero y lograron así recuperar en este pecio la sorprendente cantidad de cuatro toneladas de oro y cinco toneladas y media de plata. ¡Un sueño para cualquier cazador de tesoros!







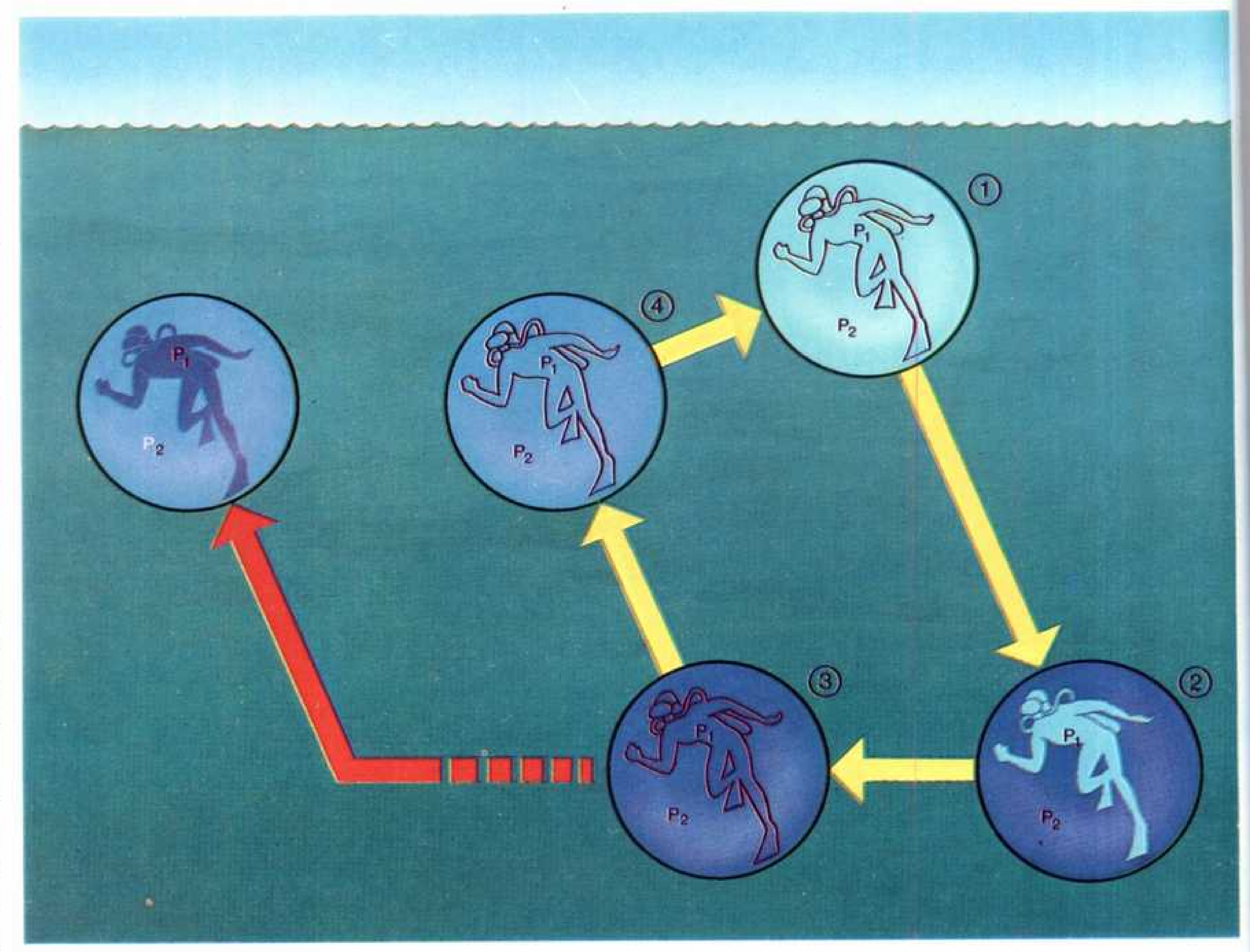


Las etapas de la conquista

Los pingüinos, que, como el hombre, son animales de sangre caliente, descienden varias veces al día a 250 metros de profundidad, y excepcionalmente a 500, sin experimentar síntoma alguno de embolia gaseosa. Las ballenas llevan a cabo análogas hazañas. Algunas focas, como las de Weddell, llegan a más de 600 metros y ascienden de golpe, sin experimentar ningún síntoma morboso. Entre los cetáceos, son los hiperodontes (también llamados «ballenas de nariz de botella») y los cachalotes los mejores buceadores, de los que se sabe con certeza que llegan a los 1.200 metros bajo la superficie, permaneciendo más de una hora en inmersión. Ahora bien, estos animales efectúan tales incursiones subacuáticas sin sufrir los malestares a los que están sometidos los hombres que se zambullen sin tomar las debidas precauciones.

En el transcurso de inmersiones muy profundas, o de zambullidas menos profundas pero muy prolongadas, o repetidas varias veces con breves intervalos, el nitrógeno del aire, que está bajo presión, pasa a la sangre. Si el ascenso se realiza demasiado rápidamente, este nitrógeno no tiene tiempo de escapar de los capilares. Se produce entonces lo que podría compararse a las burbujas de gas carbónico en una botella de gaseosa o de champán recién abierta. El buceador corre peligro de sufrir una grave embolia. Incluso los tradicionales buceadores en apnea están expuestos a este accidente, si descienden muchas veces bajo la superficie en poco tiempo. Los pescadores de perlas de las islas Tuamotú llaman *tarauana* a este mal; ignorando su origen, tratan de prevenirlo con cánticos rituales, con los que se ha comprobado que se favorece la ventilación pulmonar y la eliminación del nitrógeno excedente.

El oxígeno del aire es absorbido inmediatamente por los glóbulos rojos de nuestra sangre, que lo transportan (gracias a la





La importancia del ascenso. *El buceador debe observar al subir los escalones de descompresión que dependen a la vez del tiempo pasado bajo el agua y de la profundidad alcanzada. A la derecha: un buceador observando una parada. En la página siguiente: una tabla de descompresión elaborada por el G.E.R.S.: proporciona directamente el número y la profundidad de las paradas de descompresión en función de la profundidad y de la duración de la inmersión. En esta página, arriba:* P_1 *indica la presión de los gases en el organismo del buceador, y* P_2 *en el medio acuático. En 1,* P_1 *y* P_2 *se equilibran, al igual que en 3. Al principio de la flecha roja, el buceador ha subido con demasiada rapidez:* P_1 *es superior a* P_2*; el hombre corre peligro de sufrir una embolia fatal. En 4, se puede observar un ascenso correcto.*

Profundidad	Duración de la inmersión	Duración de los escalones aprofundidades de							Tiempo total de ascenso
		21 m	18 m	15 m	12 m	9 m	5 m	3 m	
15 metros	A esta profundidad, incluso una inmersión de una hora no requiere ningún escalón de descompresión.								
20 metros	30’								1’
	90’							16’	17’
25 metros	30’								2’
	80’							35’	37’
30 metros	35’							3’	5’
	70’						5’	47’	54’
35 metros	20’								2’
	35’							14’	16’
	60’						9’	53’	64’
40 metros	10’								3’
	20’							4’	7’
	30’						2’	15’	20’
	60’					8’	24’	54’	89’
45 metros	5’								3’
	15’							4’	7’
	25’						3’	21’	27’
	40’					2’	17’	46’	68’
50 metros	5’								3’
	10’							3’	6’
	20’						4’	18’	25’
	40’					8’	18’	52’	81’
55 metros	5’								4’
	10’							4’	8’
	15’						3’	8’	15’
	40’					14’	23’	54’	95’
60 metros	5’							1’	5’
	10’						1’	5’	10’
	20’					3’	7’	26’	40’
	40’				6’	14’	30’	54’	108’
65 metros	5’							4’	8’
	10’						3’	5’	12’
	15’					3’	3’	20’	30’
	30’				2’	12’	18’	53’	89’
70 metros	5’							4’	10’
	15’					3’	4’	23’	35’
	25’				3’	8’	18’	49’	83’
75 metros	5’						1’	4’	10’
	10’					2’	3’	7’	17’
	20’				3’	3’	18’	41’	70’
	30’			2’	7’	14’	29’	54’	111’
80 metros	5’						2’	4’	11’
	10’					3’	3’	12’	23’
	15’				2’	3’	11’	31’	52’
	20’			1’	3’	7’	17’	47’	80’
	30’		2’	5’	18’	24’	32’	60’	146’
85 metros	5’						3’	4’	12’
	10’				1’	3’	3’	19’	31’
	15’				3’	3’	14’	35’	60’
	20’			2’	2’	10’	18’	50’	87’
	30’	1’	6’	12’	12’	24’	36’	69’	165’

hemoglobina) hacia los tejidos. El nitrógeno entra poco en la composición de nuestra sangre cuando respiramos a la presión atmosférica. En contrapartida, si lo respiramos bajo presión, en inmersión, se precipita en ella. A nivel del mar tenemos 1,13 litros en el cuerpo; a –10 metros bajo la superficie tenemos el doble; el triple, a –20 metros, y así sucesivamente. Se entiende que un ascenso demasiado rápido desde las profundidades exponga al buceador a uno de los peligrosos efectos «champán». Los primeros hombres que experimentaron este tipo de accidentes no sabían muy bien a qué atribuirlos. Se habló durante algún tiempo de «enfermedad de los buzos», y algunos lanzaron la hipótesis de que tal vez se trataba de una enfermedad por virus...

No obstante, las cosas se clarificaron cuando, en el siglo XVIII, el francés Mariotte y el inglés Boyle enunciaron su famosa ley sobre las relaciones entre el volumen y la presión de los gases. Pero hubo que esperar a los trabajos de Paul Bert (1833-1886), el gran fisiólogo francés, para comprender el mecanismo de la embolia. Este científico sometió a animales de laboratorio a aumentos de presión, seguidos de bruscas descompresiones. Y comprobó que el gas exhalado por los sujetos de experimentación era nitrógeno. Este descubrimiento de Paul Bert dio idea al fisiólogo escocés John Scott Haldane, a finales del siglo pasado, de establecer unas *tablas de descompresión.* De conformidad con la profundidad alcanzada por el buceador, y el tiempo que dura su inmersión, éste debe observar un cierto número de pausas en su ascenso hacia la superficie, para permitir que el nitrógeno se escape progresivamente de sus tejidos. Son las mismas tablas, precisadas y enriquecidas por las observaciones llevadas a cabo en el transcurso de miles de inmersiones, que los escafandristas utilizan hoy todavía.

Si se quiere evitar las largas y molestas paradas de descompresión, hay dos soluciones: o vivir en una casa-bajo-el-mar, en saturación (en el entendido de que se estará sometido a descompresión muy gradualmente en una cámara, al finalizar la misión), o bien... ¡descubrir el secreto de los hiperodontes y los cachalotes! Existe una tercera solución: transformar al hombre en pez. Para ello hay que dotarlo de branquias artificiales (con las que sueñan no sólo algunos escritores de ciencia ficción, sino también ciertos científicos); o se puede pensar en hacer funcionar sus pulmones llenándolos de un líquido especial. Este camino ha sido explorado, y ya diversos mamíferos, por ejemplo los ratones, han llegado a vivir varias horas en inmersión.

Las mezclas respiratorias

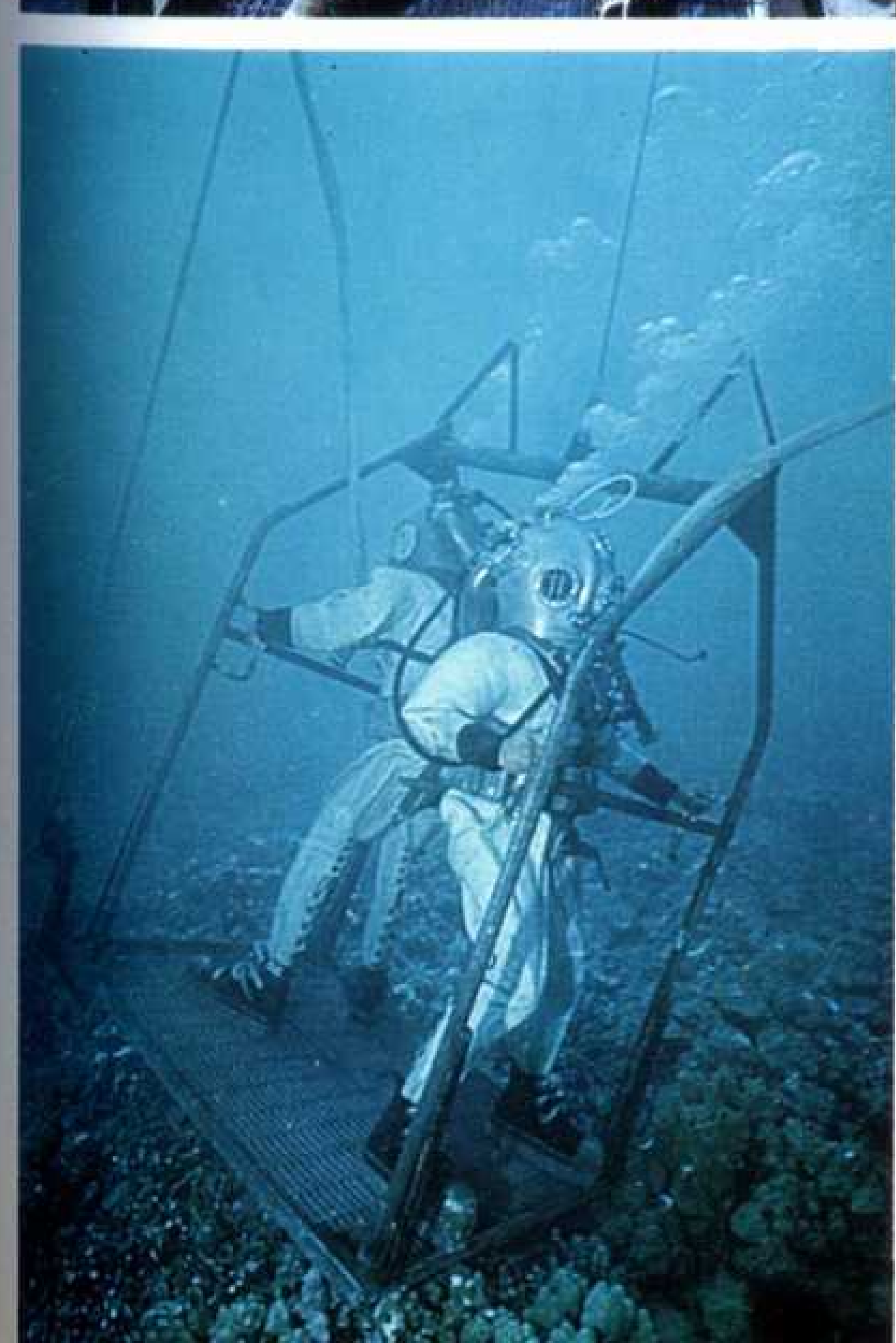
CUENTA un buceador que, estando un día bajo el agua, consultó el reloj que llevaba en la muñeca, y leyó: «40». Tuvo la consciencia suficiente como para recordar que no hay ninguna hora «40», e inició el ascenso. Acababa de escapar a uno de los más graves peligros que acechan al escafandrista: la embriaguez de las profundidades, o narcosis de nitrógeno. Esta se manifiesta por una especie de felicidad, de gran bienestar repentino, que hace que se olvide uno del peligro. El hombre se siente tan a gusto, ¡que puede arrancarse la boquilla pensando que respirará con más libertad en el agua misma!

La embriaguez de las profundidades es un fenómeno conocido desde hace mucho. Pero no se le ha encontrado aún una explicación plenamente satisfactoria. Se la ha descrito con una cierta precisión desde que el americano J. B. Green la experimentó al descender con escafandra rígida a 80 metros de profundidad. Desde ese momento, se la atribuyó al aire comprimido, sin entender bien el mecanismo de su aparición. Sería otro americano, Albert R. Behnke, quien arrojaría luz sobre la cuestión. Mediante trabajos experimentales, demostró que el único causante de la narcosis es el nitrógeno, y que si se sustituye el nitrógeno del aire por un gas más pesado aún (como el criptón o el argón), los trastornos aparecen con mayor rapidez e intensidad todavía.



Las nuevas mezclas respiratorias. *El aire comprimido no puede utilizarse sino hasta una cierta profundidad, del orden de los 50 metros. Por debajo, si la inmersión se prolonga, el hombre presenta síntomas mórbidos debidos a la fijación del nitrógeno en las grasas de sus células nerviosas: es la embriaguez de las profundidades, o narcosis del nitrógeno. Para evitar estos inconvenientes se emplean nuevas mezclas respiratorias, en las que el nitrógeno del aire es sustituido por un gas mucho más ligero: el hidrógeno (mezclas hidrox) o helio (mezclas héliox). Aquí, a la izquierda, y abajo: buzos dotados de aparatos con mezcla héliox del tipo* Mark *12. En la página siguiente: escafandras alimentadas con gas respiratorio héliox del tipo* Mark 5.



No se ha encontrado una explicación definitiva de este proceso. Se sabe, no obstante, que el nitrógeno disuelto en el organismo del buceador se fija preferentemente en las grasas, y sobre todo en las vainas de los lípidos que rodean a las dentritas de las células nerviosas. Así retrasa la transmisión de las informaciones y perturba los circuitos neurológicos habituales. En este sentido, actúa como el alcohol o como las drogas; razón por la cual, al hablar de «embriaguez» de las profundidades, no se anda muy descaminado...

Los individuos son más o menos sensibles a estos trastornos. Pero puede decirse que estos últimos empiezan a manifestarse, por término medio, hacia los 60 metros de profundidad, cuando se bucea con aire comprimido. Es la profundidad «crítica» del nitrógeno. Para escapar a esta peligrosa servidumbre, se pensó sustituir, en la mezcla respiratoria, el nitrógeno por un gas más ligero bien tolerado por el organismo, y que, por su misma escasa densidad, permite descender más abajo. Después de algunos intentos experimentales, la elección recayó en el helio, y se han empleado mezclas de helio y oxígeno (llamadas *héliox*) bien adaptadas. Ya en 1937, un hombre alcanzó los 128 metros de profundidad utilizando este tipo de gas respiratorio.

Para hacer las mezclas héliox perfectamente operativas, y de uso práctico, los americanos Edgar End y Max Gene Nohl establecieron nuevas tablas de descompresión, proyectadas especialmente para la nueva mezcla. Todos los buceadores de las profundidades adoptaron rápidamente el héliox. El 13 de mayo de 1939, el submarino americano *Squalus* se fue a pique, a 75 metros de profundidad. Unos años antes, esto hubiera significado la muerte para la tripulación, pero para entonces se pudo equipar a los escafandristas, que descendieron en una campana de buceo sobre el submarino perdido. Todos respiraban héliox. Y lograron rescatar a 33 supervivientes de la catástrofe.



Las asechanzas del oxígeno

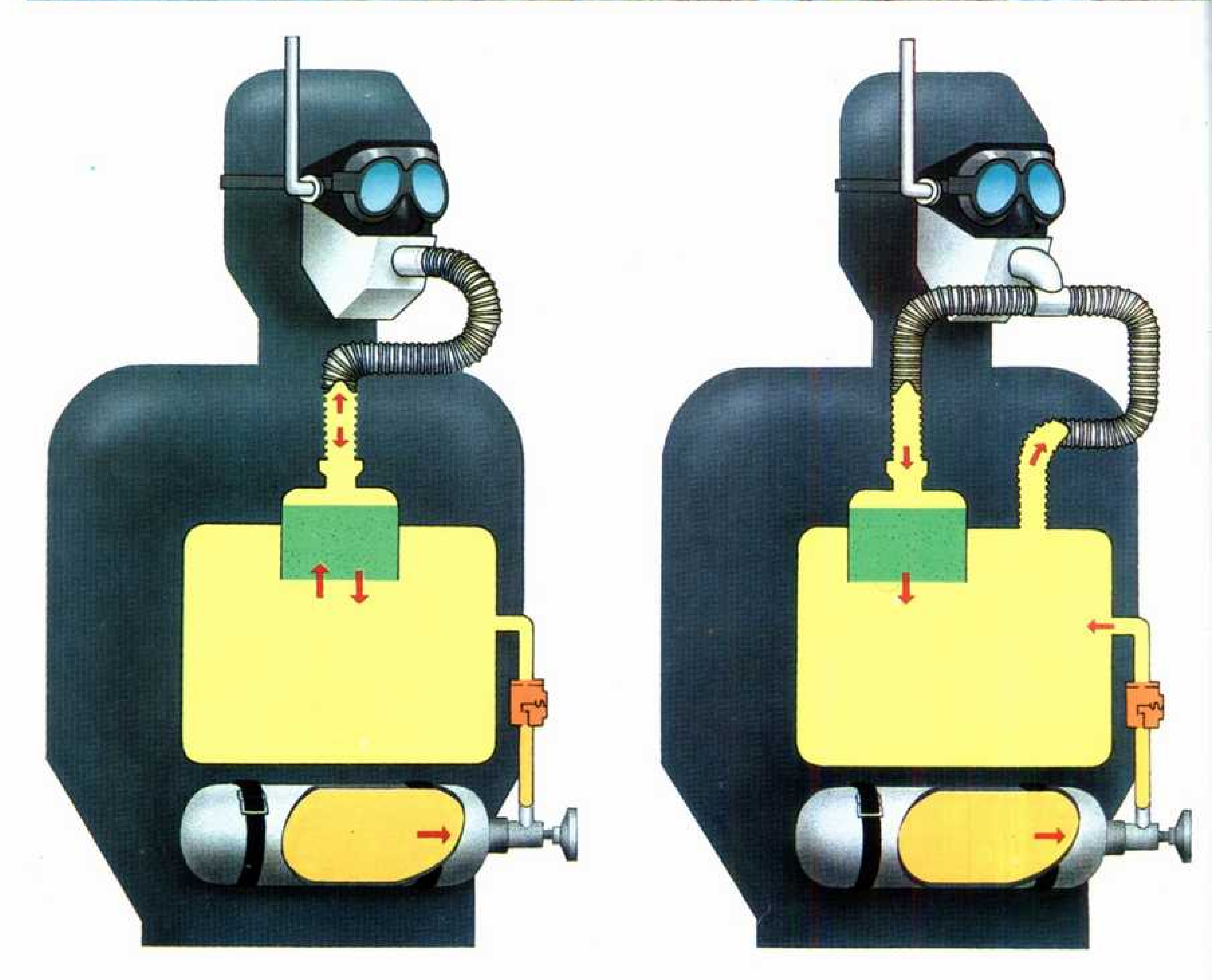
SE podría preguntar por qué se obstinan los buceadores en emplear una mezcla respiratoria. ¿No es el oxígeno el gas de la vida? ¿Por qué complicarse la existencia con la adición de otro elemento, en vez de respirar oxígeno puro?

En realidad, no es la primera vez que la cuestión se ha planteado. Durante la segunda guerra mundial, especialmente, los combatientes, equipados con escafandras con oxígeno puro (lo que evitaba producir burbujas), efectuaron numerosas misiones. Pero la cosa no es tan sencilla. El oxígeno, gas vital, se vuelve peligroso cuando se utiliza a presión, esto es, cuando se usa en inmersión. El empleo de este gas puro limita incluso las posibilidades de incursionar bajo el agua, calculándose que el peligro empieza a los siete u ocho metros de profundidad.

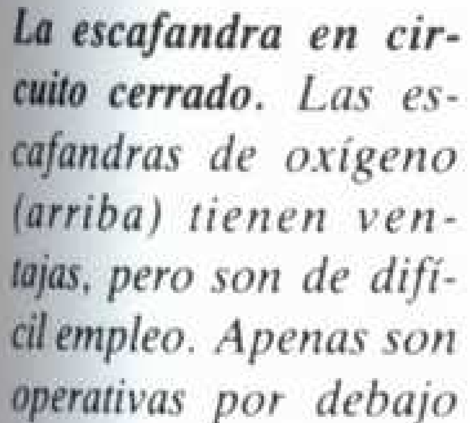
Las primeras escafandras con oxígeno puro se derivaban de las mascarillas utilizadas por los aviadores, y en especial de la que puso a punto Fleuss. Luego se proyectaron nuevos modelos, más adaptados al ambiente acuático y a la formidable presión del agua. Los más comunes consisten esencialmente en una bolsa-pulmón elástica, que se lleva sobre el pecho, y que contiene una cápsula regeneradora de cal sódica (hidróxido de sodio y de potasio, más carbonato de potasio) que absorbe el gas carbónico exhalado por el usuario. Bajo la bolsa-pulmón se coloca un tanque de oxígeno a presión, unido a la bolsa por un regulador, el cual suministra el gas a la presión y según la cantidad requeridas. El buceador acciona una manecilla para reabastecerse. Este sistema, que evita el escape de burbujas, se llama «en circuito cerrado». Es el más utilizado por los hombres-rana de combate. Pero entraña numerosos inconvenientes. Así, la cápsula purificadora no siempre tiene la máxima eficacia, y se gasta pronto. La misma bolsa-pulmón, que debe mantenerse siempre elástica, sufre deformaciones debidas al aumento de la presión; a partir de una cierta profundidad, resulta difícil encontrar materiales elásticos que llenen adecuadamente este requisito.

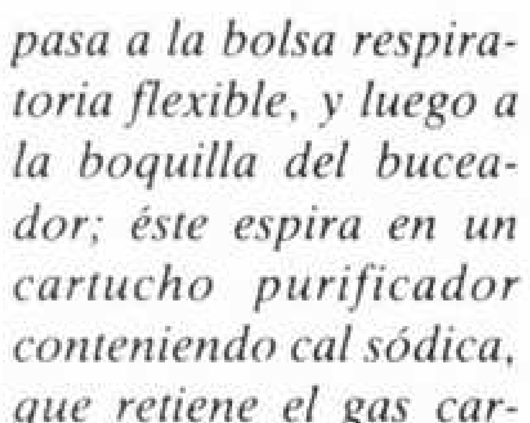
Pero esto no es lo peor. El oxígeno puro es un gas corrosivo, que irrita las paredes de las vías aéreas del organismo. Y provoca una especie de euforia similar a la de la narcosis por nitrógeno. Cuando la hiperoxia se prolonga, aparecen trastornos más graves todavía: convulsiones y pérdida de la consciencia. La profundidad crítica a la que estos síntomas se manifiestan no es realmente muy importante: apenas unos siete metros. Naturalmente, muchos de los que bucean con oxígeno





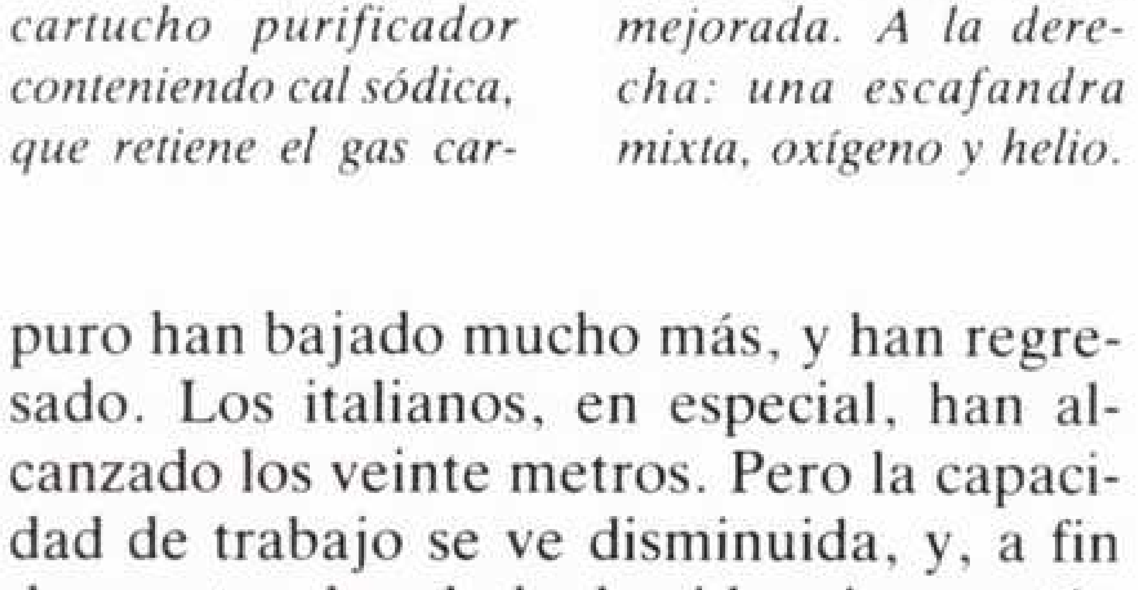






La escafandra en circuito cerrado. *Las escafandras de oxígeno (arriba) tienen ventajas, pero son de difícil empleo. Apenas son operativas por debajo de los siete metros de profundidad. Su principio de funcionamiento es sencillo (esquemas de abajo): el oxígeno bajo presión contenido en un tanque pasa a la bolsa respiratoria flexible, y luego a la boquilla del buceador; éste espira en un cartucho purificador conteniendo cal sódica, que retiene el gas carbónico. A la izquierda: la escafandra en circuito cerrado simple. En el centro: la misma, mejorada. A la derecha: una escafandra mixta, oxígeno y helio.*





puro han bajado mucho más, y han regresado. Los italianos, en especial, han alcanzado los veinte metros. Pero la capacidad de trabajo se ve disminuida, y, a fin de cuentas, la salud y la vida misma están en peligro. Una de las condiciones indispensables para bucear con oxígeno puro es no cansarse nunca, y sobre todo no acelerar la respiración: difícil autodisciplina que requiere nervios a toda prueba y largos entrenamientos.

Si se respetan estas leyes sacadas de la experiencia, la escafandra de oxígeno puro en circuito cerrado puede prestar evidentes servicios. Es ligera y cómoda (la cápsula de cal sódica pesa menos de un kilogramo). Y ofrece una buena autonomía: en teoría, una botella de oxígeno de dos litros comprimidos a 150 atmósferas basta para sumergirse casi cinco horas (en la práctica, el tiempo útil es mucho más reducido: unas dos horas y media). La ventaja más evidente de este sistema es que no se escapa ninguna burbuja al respirar (contrariamente a la escafandra de aire), siendo por tanto silencioso. Esto, evidentemente, es una razón suficiente para recomendar su empleo en inmersiones de carácter militar. Pero también puede servir para aproximarse a los animales acuáticos ariscos, que las otras escafandras ahuyentan. El equipo del *Calypso* ha utilizado semejantes aparatos en múltiples ocasiones; por ejemplo, para acercarse a las nutrias marinas y las otarias. Pero a los buceadores no les gusta el oxígeno puro: exige mucha atención, mucha calma, mucha regularidad como para adaptarse al trabajo, a menudo improvisado e inesperado, de la filmación submarina; y, sobre todo, sigue siendo peligroso...

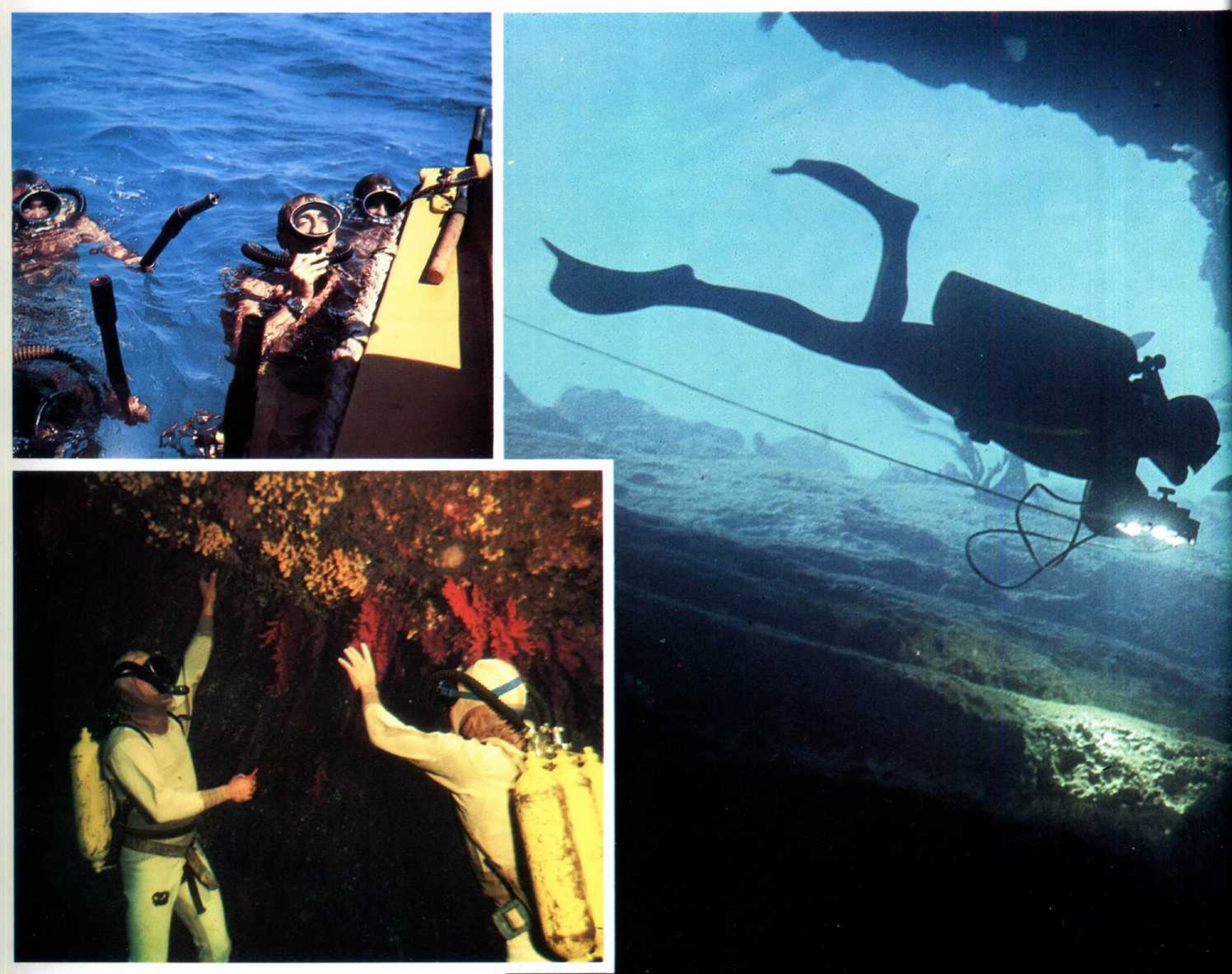
Todavía no se han solventado todos los inconvenientes del oxígeno puro, y se sigue experimentando. Así, en el centro hiperbárico de Zürich, un paciente ha respirado durante cinco minutos oxígeno puro a una presión de 15 atmósferas, que equivale a una profundidad de 150 metros aproximadamente. Pero la investigación se orienta actualmente más bien hacia soluciones de compromiso en las que el oxígeno constituiría, por ejemplo, el 50 por 100 de la mezcla respiratoria; tales proporciones permitirían que los buceadores redujeran los efectos de la narcosis por nitrógeno, y observaran etapas de descompresión mucho más breves que de ordinario.

La libertad en el mar

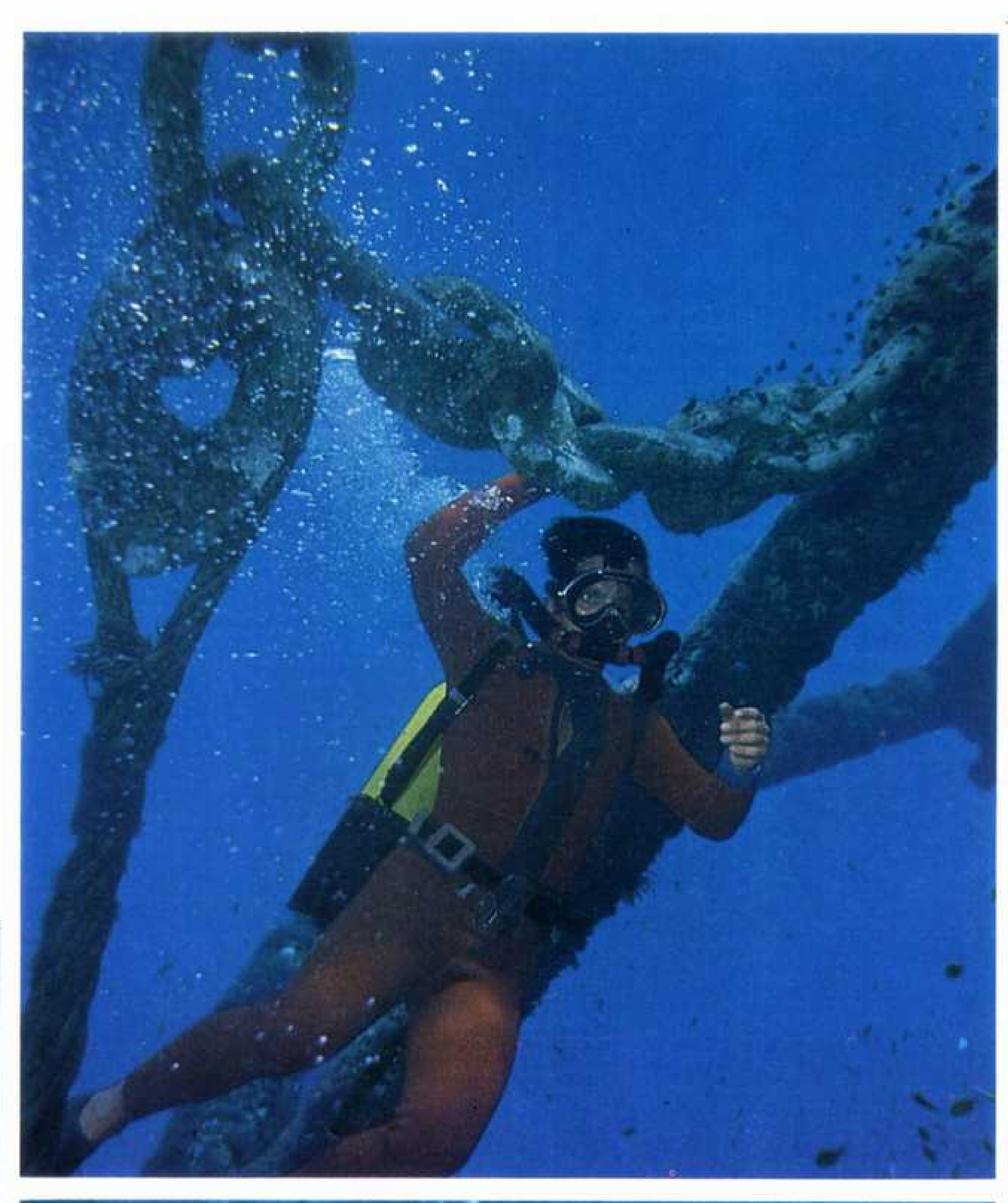
EL 7 de agosto de 1945, el ingeniero sueco Arne Zetterström llevó a cabo una inmersión histórica a 150 metros de profundidad; hasta los 30 metros bajó respirando aire comprimido; luego pasó a una mezcla (llamada hídrox) de 4 por 100 de oxígeno y 96 por 100 de hidrógeno. Esta mezcla hídrox es, teóricamente, más «rentable» todavía que la mezcla héliox, pues el hidrógeno es más ligero que el helio (es el menos denso de todos los gases). Si la primera inmersión se vio coronada por el éxito, la segunda acabó en tragedia, como consecuencia de un error de dosificación efectuado por el personal de acompañamiento de Zetterström.

Pero la revolución estribaba sobre todo en el concepto mismo del respirador. Revolución que sobrevino en 1944, cuando Emile Gagnan y Jacques-Yves Cousteau pusieron a punto la escafandra autónoma, provista de un regulador a voluntad. En efecto, el regulador en cuestión permite, de forma automática (sin que el buceador tenga que efectuar maniobra alguna), proporcionar aire a la presión exacta de la del agua circundante; lo cual depende de la profundidad alcanzada. El comandante Cousteau ha descrito frecuentemente esta innovación como una liberación; y verdaderamente lo es. El hombre liberado de los tubos que le unen a la superficie, de la angustia de tener que respirar siempre al mismo ritmo, o de tener que accionar sin cesar una manivela para proveerse del gas vital, no tuvo ya otra frontera bajo el agua que la de la «barrera del nitrógeno» y la de la capacidad de sus reservas de aire comprimido. Respecto de la primera limitación, nada impide utilizar el sistema Cousteau-Gagnan con otras mezclas respiratorias, aparte del aire. En cuanto a la segunda, hay que saber que, por ejemplo, un tanque de 20 litros de aire comprimido a 200 atmósferas permite bucear a 40 metros durante 20 minutos. En la actualidad las botellas dobles carenadas de los buceadores les permiten incursionar más prolongadamente bajo el agua; pero siempre serán limitadas.

La escafandra autónoma proporciona al buceador libertad de movimientos. El hombre se convierte en una especie de pájaro extraño, sobrevolando (a la velocidad que puede alcanzar nadando) fondos que hasta entonces sólo había entrevisto. Los buceadores, incluso aficionados, aprenden rápidamente los pequeños «trucos» del paseo submarino, como el de deglutir para equilibrar la presión hidrostática sobre los tímpanos. El buceo submarino, liberado de anteriores limitaciones, se ha convertido así en un deporte que practican millones de personas en todo el mundo. A través de las películas del comandante Cousteau, el *Mundo del*



¡Al fin libres! Tras la invención fundamental de Cousteau y Gagnan, los progresos se han centrado en los trajes y el carenado de los tanques. En la página anterior, a la izquierda: dos de los primeros intentos de utilización de la escafandra autónoma por el equipo Cousteau. Abajo y en la página de la derecha, abajo: los modernos trajes de buceo y las botellas carenadas. Aquí, a la derecha: traje llamado unisuit, especialmente concebido para inmersiones en aguas frías.





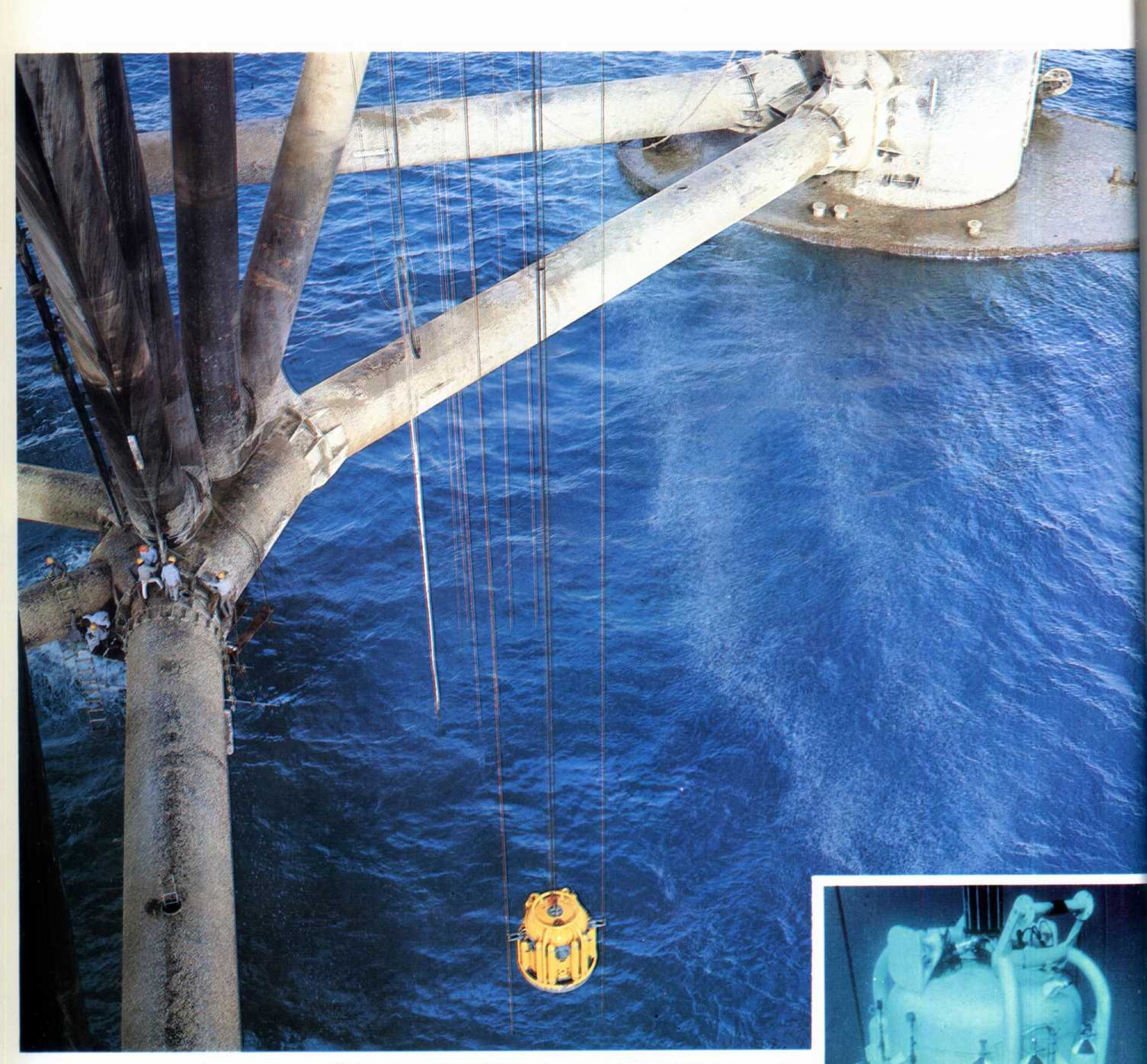
silencio ha fascinado a hombres y mujeres de todas las edades.

Entre los que más requieren de la inmersión profunda, hay que citar a los industriales del petróleo. El porcentaje de los hidrocarburos extraídos *off-shore*, en alta mar, no cesa de aumentar: hoy se acerca al 30 por 100. Ahora bien, los *robots* solos no pueden garantizar (aunque no dejen de pretenderlo ciertos industriales actuales) la seguridad de las cabezas de los pozos sumergidos y de las conducciones. Serias y numerosas son las dificultades que presenta el trabajo a grandes profundidades. Se puede tener una idea de ellos si se piensa, por ejemplo, que un hombre que permanece media hora en el fondo, incluso a una profundidad modesta de 75 metros, tiene necesidad de observar cinco escalones de descompresión en el curso del ascenso, es decir, esperar durante 116 minutos; e incluso este es el tiempo que permite garantizar su seguridad para una única inmersión; no eliminará totalmente el nitrógeno disuelto en su sangre sino al cabo de 10 a 20 horas. Lo cual le impide volver de nuevo a sumergirse inmediatamente después... De manera que este tiempo de descompresión cuesta caro, por totalmente improductivo.

Una de las soluciones que se han encontrado a este problema es la de la inmersión en saturación. Los gases se disuelven en el líquido sanguíneo; pero, a partir de una cierta concentración (que corresponde a su índice de saturación), dejan ya de acumularse. Se puede lograr que un hombre bucee, esperar a que se sature, dejarle trabajando en saturación proporcionándole varias veces su reserva respiratoria, y permitirle ascender tras un período de trabajo rentable. Se puede incluso, mientras asciende, introducirle en una cámara de descompresión; este artefacto le permitirá vivir en seco, en el puente del barco, los largos momentos indispensables para que se equilibren nuevamente los gases de su sangre y de la atmósfera.

Son los mismos problemas de las casas-bajo-el-mar. Como el organismo del submarinista llega con bastante rapidez a la saturación, y como la mayor de las saturaciones nunca requieren una descompresión superior a los cinco días, interesa hacer que el buceador trabaje durante varias semanas, e incluso varios meses, bajo el agua: el tiempo de subida seguirá siendo el mismo.

Las casas-bajo-el-mar, tanto de los programas americanos *Man in the Sea* y *Sealab* como del programa francés del comandante Cousteau, *Précontinent*, han demostrado que los cálculos son acertados. Los hombres del *Précontinent III*



permanecieron un mes a 110 metros de profundidad, y habrían podido quedarse más todavía, trabajando duro.
No obstante, la saturación con las mezclas helio-oxígeno provoca un cierto número de trastornos secundarios, que los fisiólogos han caracterizado rápidamente. El síndrome «neurológico-hiperbárico» consiste en irreprimibles temblores. Se piensa que estas manifestaciones se deben a la solubilidad de los gases inertes en las membranas lipídicas de las células nerviosas, lo que entraña perturbaciones en la conducción del influjo a través de las sinapsis. Se han comprobado empíricamente, sin poder dar una explicación satisfactoria, que si se añaden pequeñas cantidades de nitrógeno a la mezcla hélio x, los síntomas en cuestión desaparecen. Esto se debe probablemente a que el nitrógeno hace que se hinchen los tejidos nerviosos comprimidos por la presión, permitiendo así que el flujo nervioso se restablezca.
El buceo de larga duranción en saturación no requiere forzosamente la infraestructura pesada y costosa de una casa-bajo-el-mar. Se puede utilizar una torreta de acero en la que el buceador se refugia, se seca y se calienta después de trabajar, y a la que está acoplada una cámara de descompresión.



Las campanas de buceo. La antigua campana de buceo ha sido recientemente reivindicada bajo una forma más moderna. Muy práctica, permite bajar al fondo del agua a varios hombres con su material. Estos, después de trabajar, pueden descansar en ellas. El problema de la renovación del aire no se plantea porque éste llega bajo presión desde la superficie. Al permanecer mucho tiempo en inmersión, los hombres se saturan. Normalmente, necesitarían un largo período de descompresión. Esta se efectuará en una cámara hiperbárica, que se sube a la superficie y se abre en una cámara también hiperbárica (secuencia de esquemas de abajo).

Las ventajas de esta moderna campana de buceo, de la que los hombres pueden salir y a la que regresan como a una casa provisional, son múltiples, al permitir que los hombres de los fondos descansen en ella pudiendo disponer de una salita-comedor y de diversas distracciones.

Pero forzoso es reconocer que, en la actualidad y un poco por todo el mundo, difícilmente se encuentra quien financie este tipo de proyectos. A principios de los años setenta, cuantos nos dedicamos a la investigación y desarrollo de los sistemas de buceo en saturación (mediante campañas de buceo ultramodernas, torretas o casas-bajo-el-mar) nos las prometíamos muy felices. Parecía inmenso el campo de utilización de estos materiales revolucionarios. Naturalmente, en cuanto a pedidos, contábamos sobre todo con las sociedades petroleras, preocupadas por garantizar el mantenimiento y seguridad de sus pozos de perforación *off-shore*. Pero la realidad decepcionó nuestras esperanzas: los petroleros encuentran hoy mucho más sencillo y menos costoso recurrir a máquinas —los *robots*— para llevar a cabo estas funciones. Pero hay que admitir que están equivocados, si se piensa cuidadosamente en sus requerimientos y en los riesgos que hacen correr al entorno en caso de accidentes graves.

Las inmersiones simuladas

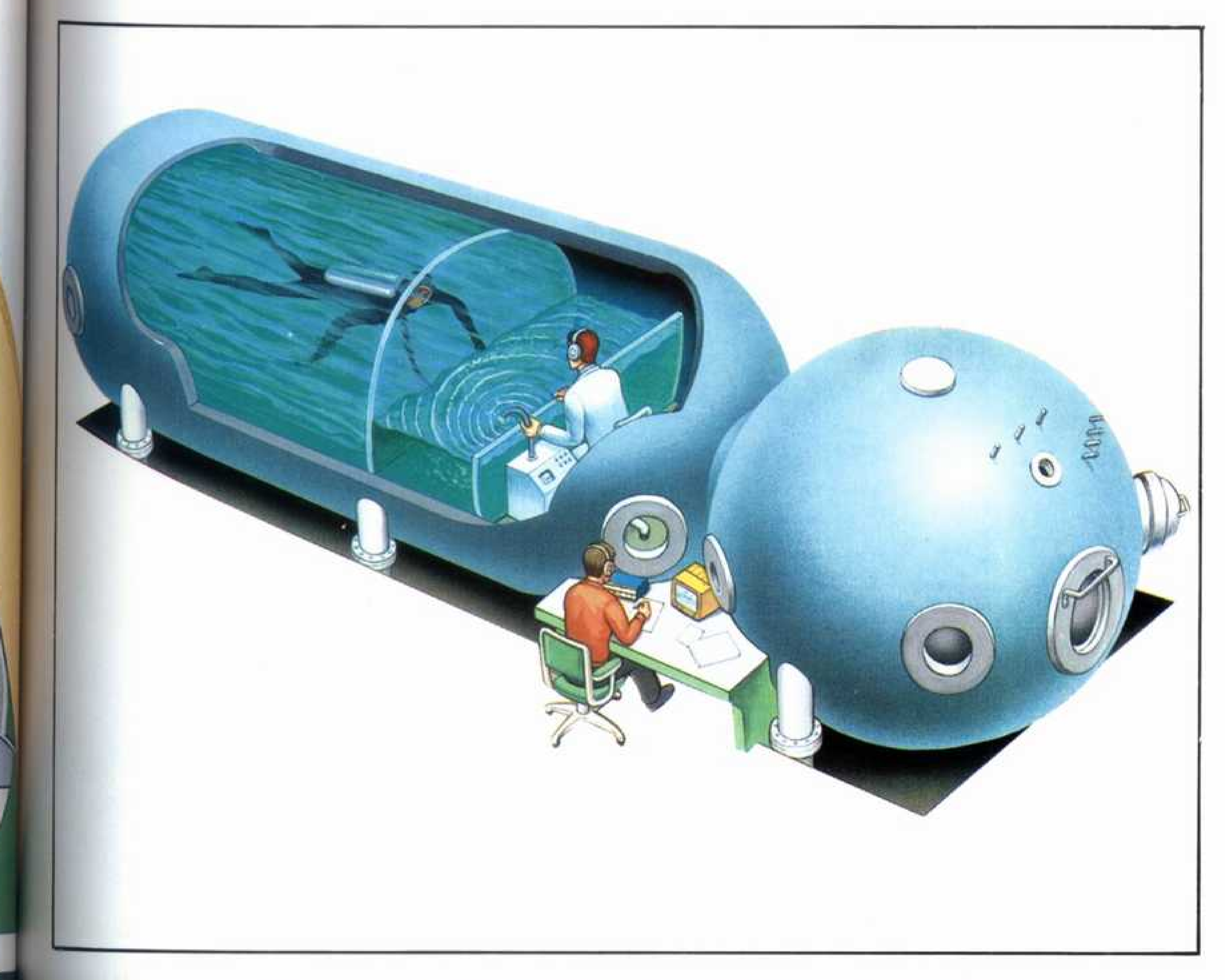
Es evidente que el estudio del material de buceo y de la fisiología de los hombres elegidos para descender bajo el mar no puede prescindir de los experimentos en el agua misma, en el medio marino. Pero las investigaciones preliminares se llevan a cabo, cada vez con más frecuencia, en los centros en tierra.

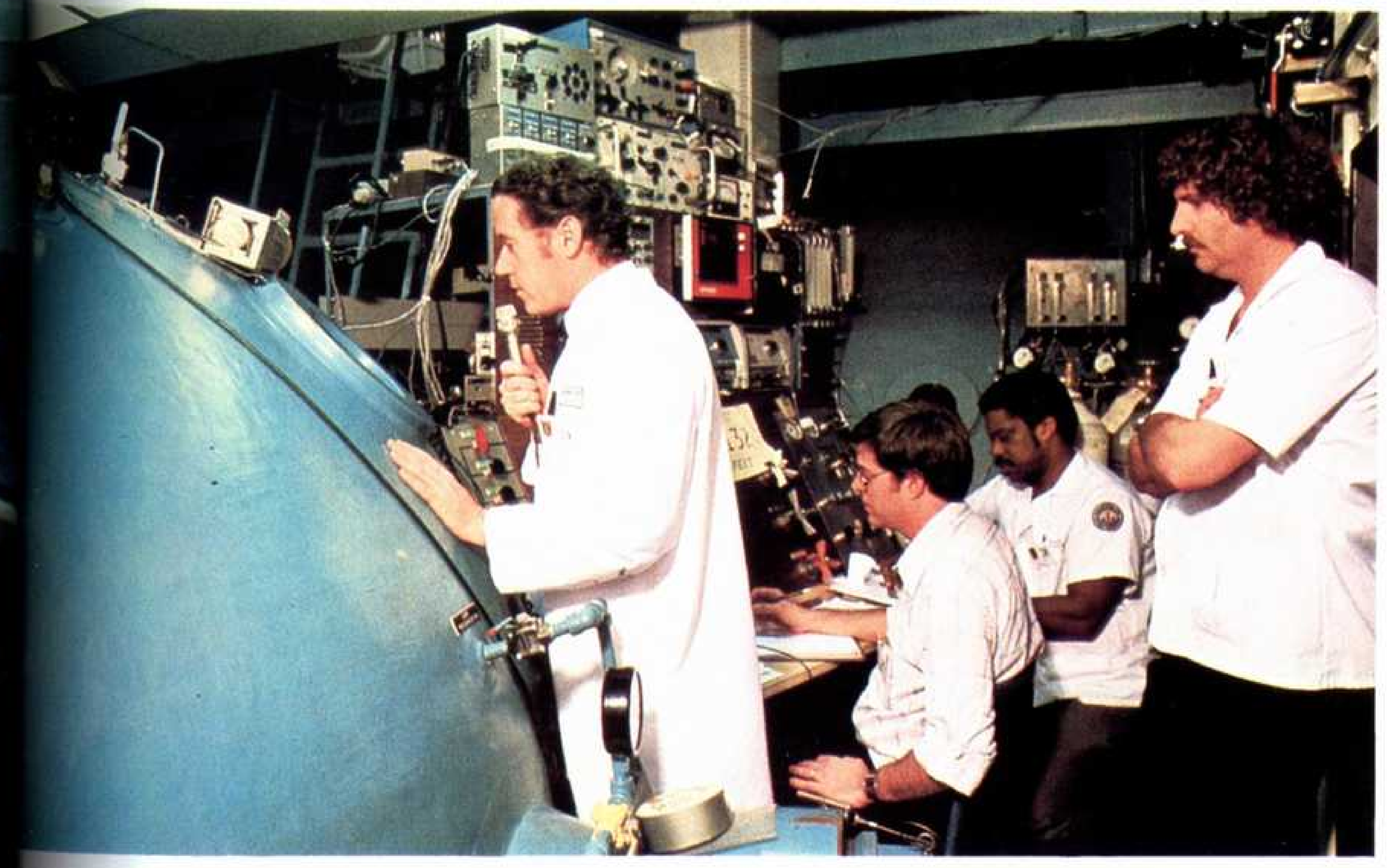
Las inmersiones simuladas presentan una doble ventaja. Por una parte, estos experimentos pueden llevarse a cabo en las mejores condiciones para el estudio de la fisiología del buceador y de la fiabilidad de los materiales. (En contacto con los sujetos a experimentación por toda suerte de aparatos de captación de datos, los técnicos prueban mucho mejor a hombres e instrumentos.) Por otra parte, cosa muy importante, se hace correr a los pacientes un mínimo de riesgos.

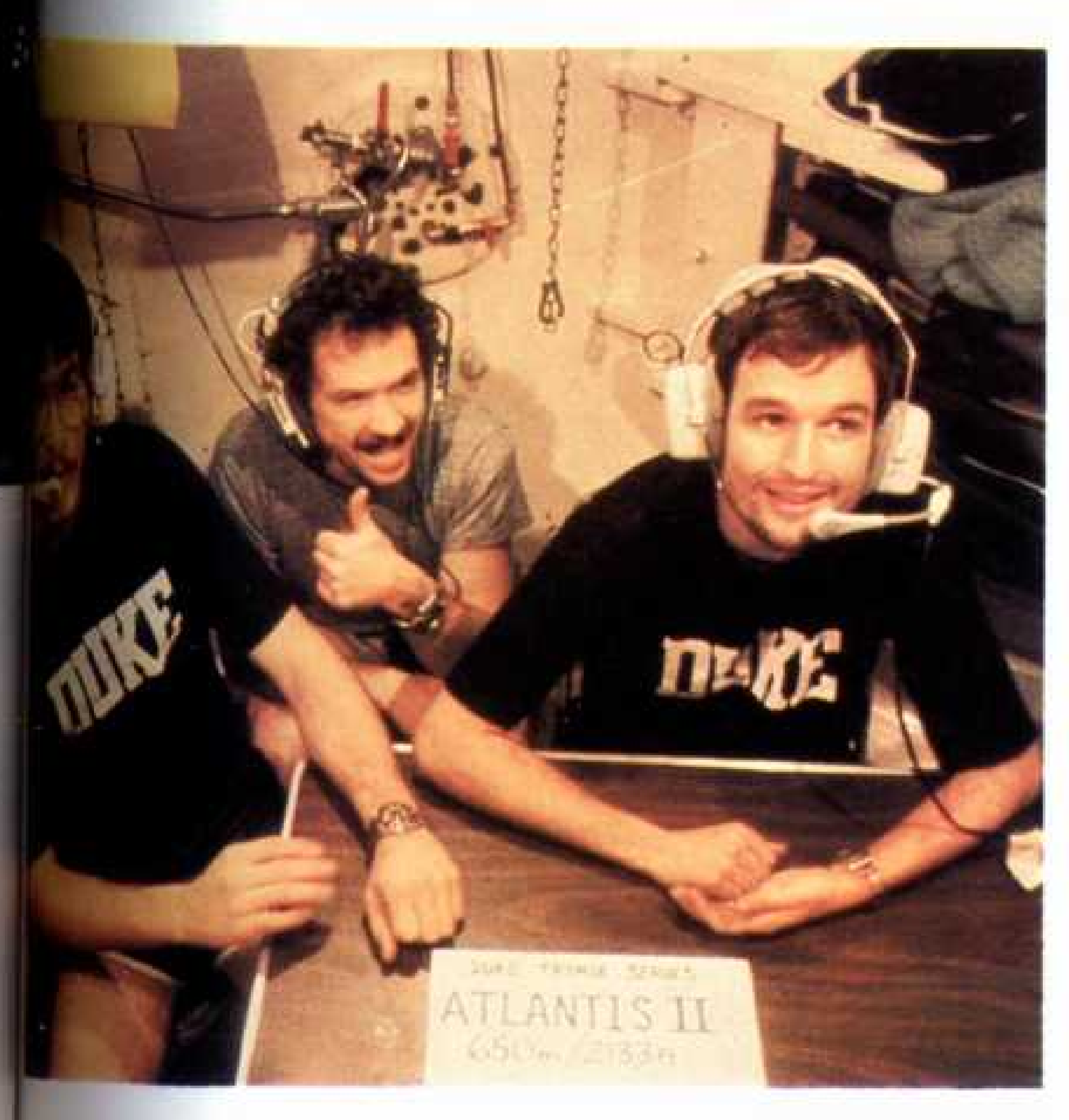
Una vez realizados todos los experimentos en inmersión simulada, hay que pasar a la inmersión real. Y es entonces cuando se advierte indefectiblemente que entran en juego nuevos parámetros; algunos, ya previstos, cobran más (o



Una jornada a −650 metros. *En la actualidad, los experimentos para mejorar los materiales, las mezclas respiratorias, etc., destinados a inmersiones muy profundas se llevan a cabo en tierra. En los locales de la COMEX, en Marsella, existe uno de estos complejos hiperbáricos. En esta página: esquema y fotografía de las instalaciones de Buffalo, en los Estados Unidos; en la página siguiente, arriba: esquema de la cámara hiperbárica del centro de Buffalo. El récord actual de inmersión simulada lo tienen tres hombres (Steve Porter, Bud Shelton y William Bell) trabajando por cuenta de la universidad de Pensilvania. En el curso del experimento* Atlantis II, *en abril de 1980 (página siguiente, abajo), alcanzaron la profundidad ficticia de −650 metros, dedicándose a numerosas pruebas de resistencia fisiológica (página siguiente, abajo, a la derecha), bajo la dirección del doctor Peter Bennet (página siguiente, en el centro). Los hombres utilizaron una mezcla respiratoria héliox (helio-oxígeno) con algo de nitrógeno.*









menos) importancia de lo que se esperaba; otros, en cambio, son totalmente insospechados. Esta incertidumbre explica que los récords en inmersión real se queden siempre más cortos que los obtenidos en inmersión simulada. Los primeros los ostentan actualmente el equipo francés del *Janus IV:* en el transcurso de un experimento cerca de Marsella, seis buceadores permanecieron en saturación durante trece días y trabajaron diez horas diarias a 460 metros de profundidad; dos de ellos descendieron durante diez minutos a 501 metros bajo la superficie. Los récords de inmersión simulada pertenecen desde abril de 1980 a un equipo de la Universidad de Pensilvania: B. Shelton, W. Bell y S. Porter alcanzaron 64,98 atmósferas, es decir, una profundidad ficticia de 649,80 metros; respiraban un gas compuesto de 0,5 por 100 de oxígeno, 89,5 por 100 de helio y 10 por 100 de nitrógeno. Este último permite combatir eficazmente los síntomas debidos al aumento de la presión. En el transcurso de esta inmersión simulada, se advirtió que los hombres resisten mucho mejor el aumento de la presión si se les somete a ella de forma muy progresiva que si se enfrentan a ella bruscamente.

Los efectos de las altas presiones son bastante complejos. Por ejemplo, al acercarse a las 65 atmósferas, se comprueba que los pulmones sólo tratan 30 litros de gas por minuto, contra los 150 en la cota cero. Esto requiere introducir oxígeno en las mezclas respiratorias bajo una presión parcial superior a la prevista por las cifras teóricas correspondientes a la profundidad de trabajo.

Pero quedan muchos otros problemas por resolver. Si se quiere descender a 800 metros o más abajo, es probable que se presenten nuevos trastornos de narcosis, incluso con gases inertes tan ligeros como el helio o el hidrógeno. Por lo demás, nada se sabe todavía de los efectos a largo plazo de las inmersiones prolongadas y repetidas en saturación.

A pesar de haberse frenado un tanto en los últimos años, prosiguen los experimentos en cámaras hiperbáricas, y, luego, en inmersión real. Pero para que las investigaciones vuelvan a reavivarse, tal vez haya que esperar a una mejor adecuación entre las posibilidades teóricas de la inmersión y las necesidades de los «utilizadores» del mar (petroleros, industriales mineros, compañías de rescate submarino, etc.). Sea de ello lo que fuere, la «repercusión» de los experimentos en cámaras hiperbáricas es grande en otros ámbitos al margen de la oceanografía. Por ejemplo, es usual ya tratar por medio de las altas presiones las enfermedades vasculares.

El problema del frío



TAMBIÉN la exploración subacuática de los lagos presenta gran interés. En Italia, cerca de Trento, algunas extensiones de agua de los primeros contrafuertes alpinos esconden numerosos pecios de la segunda guerra mundial (prescindiendo del mítico «tesoro de los nazis»). Los fondos del lago Band-i-Amir, en Afganistán, son una pura maravilla, con formaciones cristalinas dignas de los más bellos arrecifes de coral, y magníficas algas flotantes. El lago Titicaca, compartido entre Perú y Bolivia, oculta interesantes formas animales, en especial una inmensa población de ranas (por no hablar tampoco del legendario «tesoro de los incas»).

Bucear en los lagos ofrece además un interés práctico inmediato, si se piensa en las represas hidroeléctricas, que no está por demás bajar a inspeccionar de cerca para descubrir eventuales grietas.


Sin embargo, estas incursiones subacuáticas no son frecuentes, pues la inmersión en agua dulce plantea problemas muy especiales. Los lagos situados a cierta altitud requieren de etapas de descompresión muy prolongadas. Por ejemplo, si se bucea a treinta metros durante treinta minutos en el mar, se requiere de una etapa de descompresión de cuatro minutos y medio, a tres metros de profundidad. Si se efectúa el mismo descenso, durante el mismo tiempo, en un lago situado entre 2.000 y 3.000 metros, la presión atmosférica ambiente es mucho más débil que al nivel del mar. Es tanta la diferencia entre la presión parcial de los gases disueltos en los vasos sanguíneos como consecuencia de la inmersión, y la presión ambiente fuera del agua, que la mayor parte del tiempo bajo el agua hay que pasarla esperando que se produzca la descompresión...

Por otra parte, las aguas de los lagos son en general bastante más frías que las del mar, cuando no ocurre que estas extensiones líquidas están lisas y llanamente invadidas por los hielos. Lo que da por resultado que una contradicción entre el hecho de que el buceador tenga que permanecer largo tiempo bajo el agua para descomprimirse, y el hecho de que debería estar lo menos posible para evitar morirse de frío.

Las expediciones del *Calypso* al lago Titicaca, o a los mares polares (tanto en e océano glacial Artico como en la Antártida), han permitido controlar mejor la dificultades de las bajas temperatura bajo el agua. Así se han perfeccionad trajes (llamados *unisuit)* que permiten doblar o triplicar el tiempo de trabajo en lo mares polares, en los que el agua superficial (en razón de su salinidad) puede alcanzar −2 °C. Ciertas firmas han fabricado ya trajes calefactores, sin los qu serían impensables las inmersiones prolongadas en tales aguas.

Un techo de hielo. *Uno de los principales enemigos del buceador es el frío. El agua conduce el calor mejor que el aire, y «vacía» rápidamente de calorías al cuerpo humano. El submarinista de arriba, en las aguas cubiertas de hielo del lago de Carezza, en Italia, no podrá permanecer sino unos minutos bajo la superficie. Ni siquiera los trajes calientes son eficaces al ciento por ciento.*

Sumergibles y batiscafos



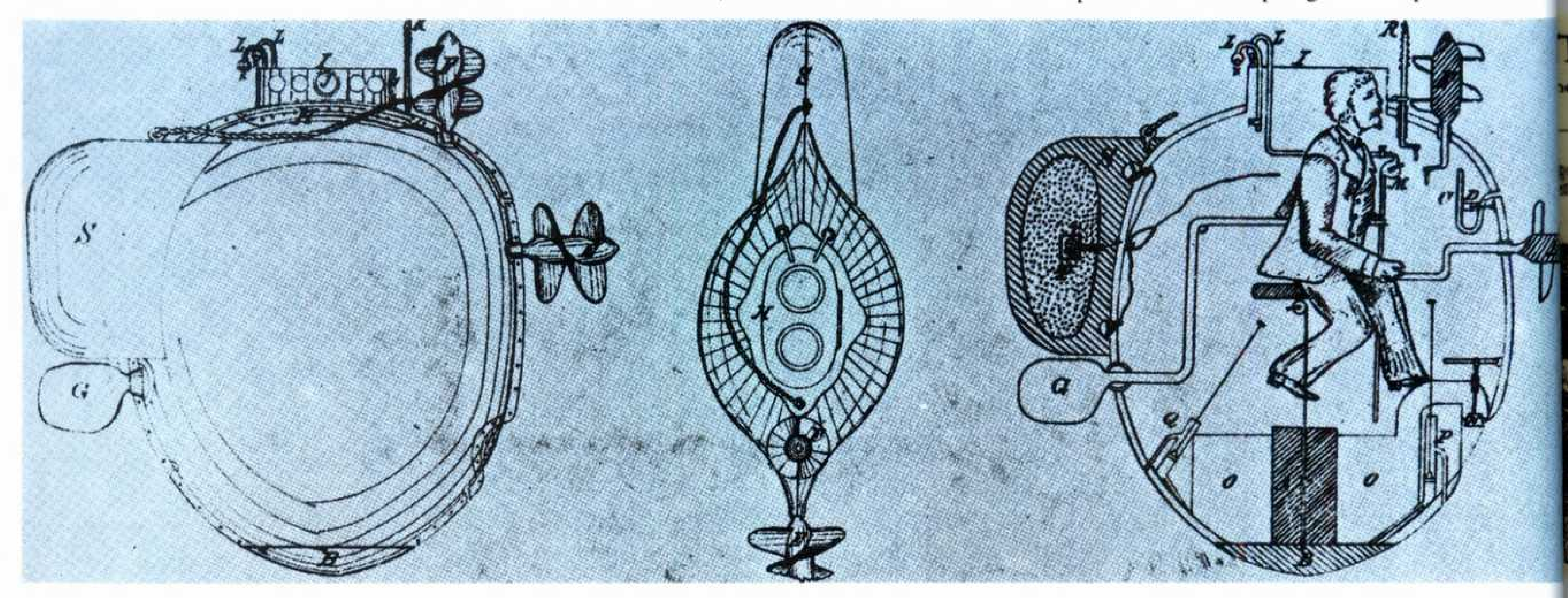
Del *Turtle* al *Nautilus*

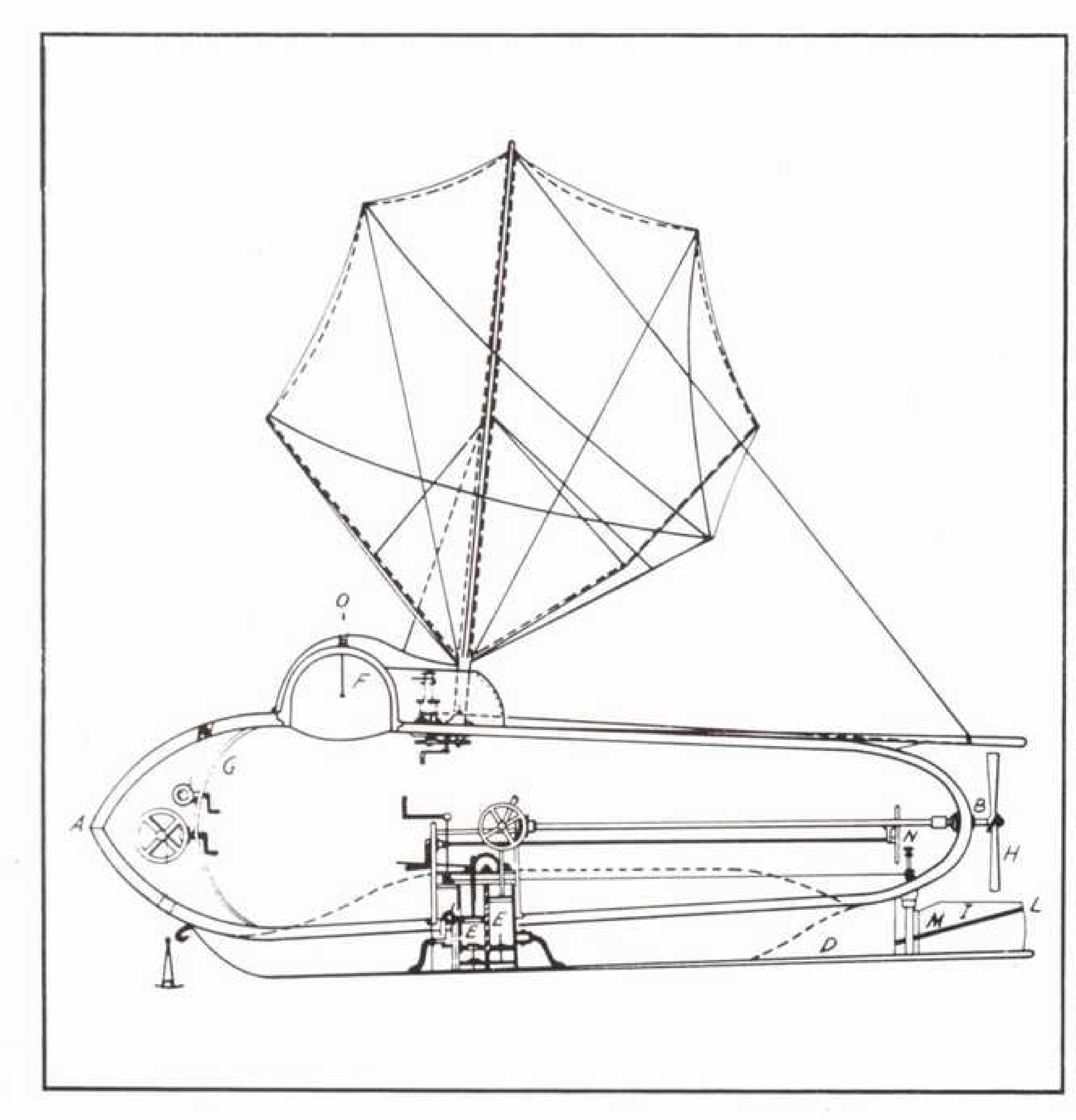
La historia de los submarinos es todo menos simple y esquemática. Los navíos proyectados para avanzar bajo el agua tuvieron, desde el principio, finalidades muy diferentes: investigación, transporte, etc. La constante, a fin de cuentas, estriba en la utilización militar. Los primeros inventores de sumergibles ofrecieron sus servicios a los responsables guerreros (que, por lo demás, no siempre comprendieron a tiempo las ventajas que tales artilugios podían reportarles). En la actualidad, el mayor número de submarinos sigue siendo militar. Con los submarinos nucleares portadores de cohetes intercontinentales, toda la estrategia mundial ha cambiado: de medio de defensa suplementario, el sumergible se ha transformado en pieza esencial de ataque o de respuesta.

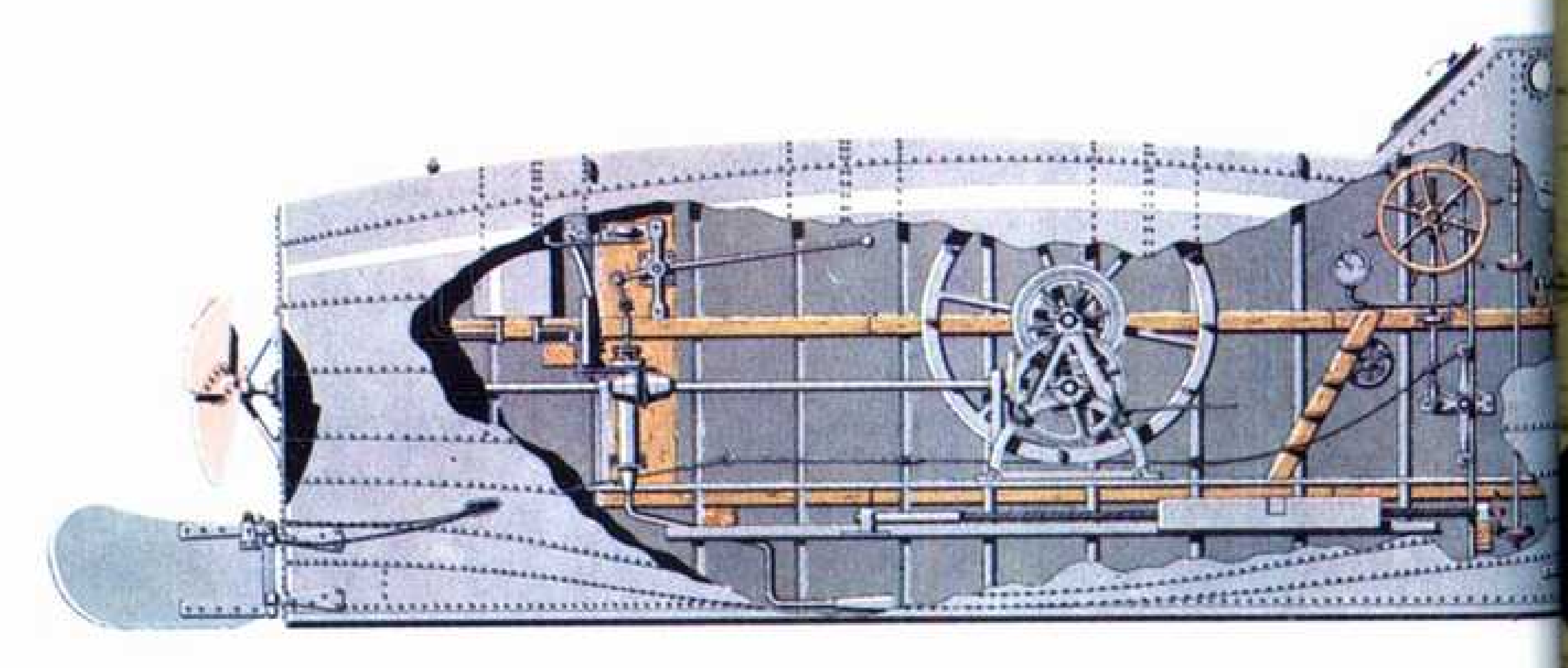
Parece difícil establecer dónde o cuándo apareció el primer vehículo submarino. ¿Podrían clasificarse en esta categoría las grandes tinajas volcadas que los pescadores de esponjas mediterráneos utilizaron por milenios para prolongar sus incursiones subacuáticas? En cualquier caso, estos reservorios de aire móviles debieron de sugerir a los hombres la idea de la campana de buceo de fondo abierto, que alcanzó horas de gloria después de que Halley la perfeccionara.

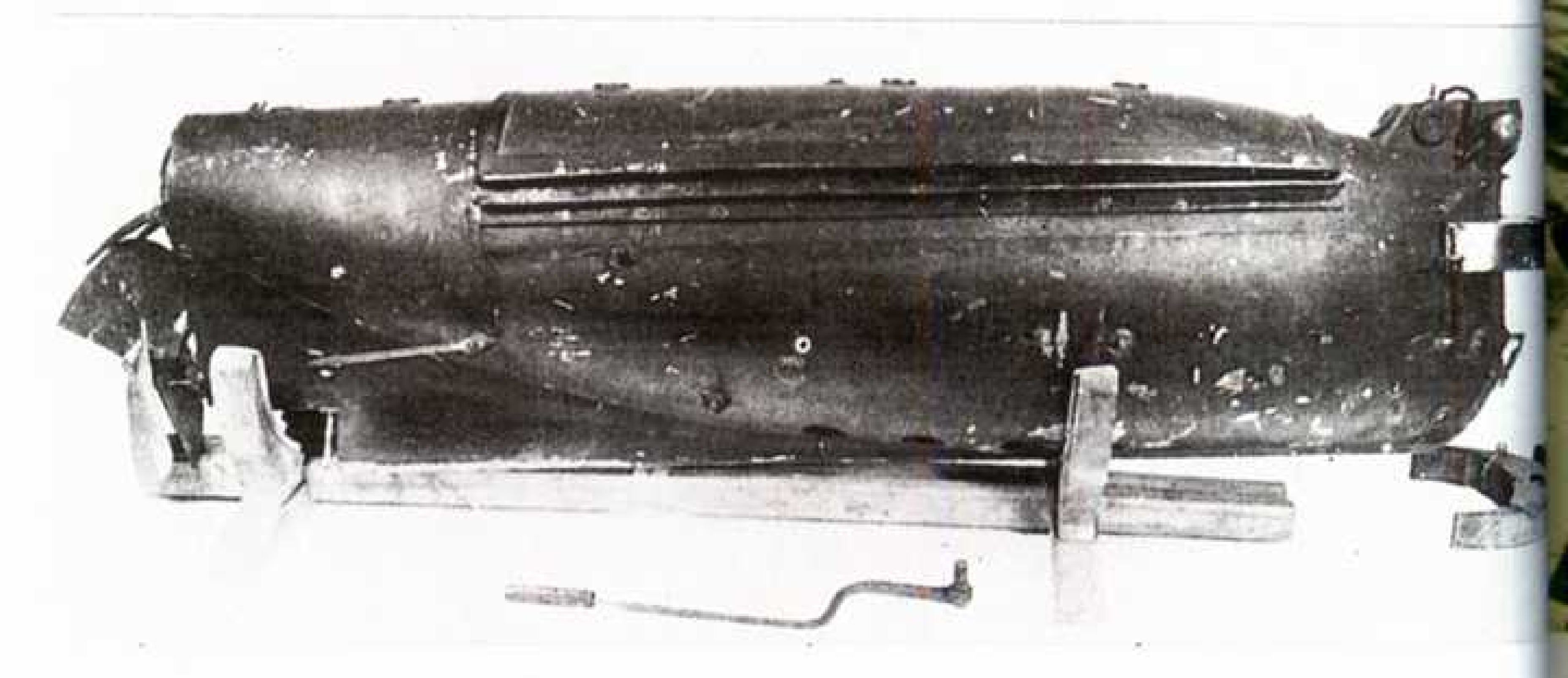
El primer auténtico submarino, en la acepción moderna de la palabra, fue el que Cornelius van Drebel construyó e hizo sumergir en las aguas del Támesis en los años 1620 a 1624; el aparato, propulsado a remos, alcanzó cinco metros de profundidad en el río londinense. La ide de dotar a los sumergibles con balasto llenos de agua se experimentó en 1747. El primer submarino eficaz, y expresa mente proyectado con fines militares, fu el *Turtle* («Tortuga») de David Bushnell utilizado en el curso de varios episodio famosos de la guerra de independenci americana. Otro americano, Robert Fu ton (conocido también como uno de lo inventores del buque de vapor), puso punto un temible sumergible: el primer de una larga estirpe que llevó el nombr de *Nautilus*.

El propósito de Fulton era, una vez más militar. El inventor presentó su vehícul a Napoleón I, que no le hizo mayor caso aunque se trataba de una nueva máquin de guerra que habría podido cambiar l faz de los combates navales de la época poner en serio peligro la supremacía bri







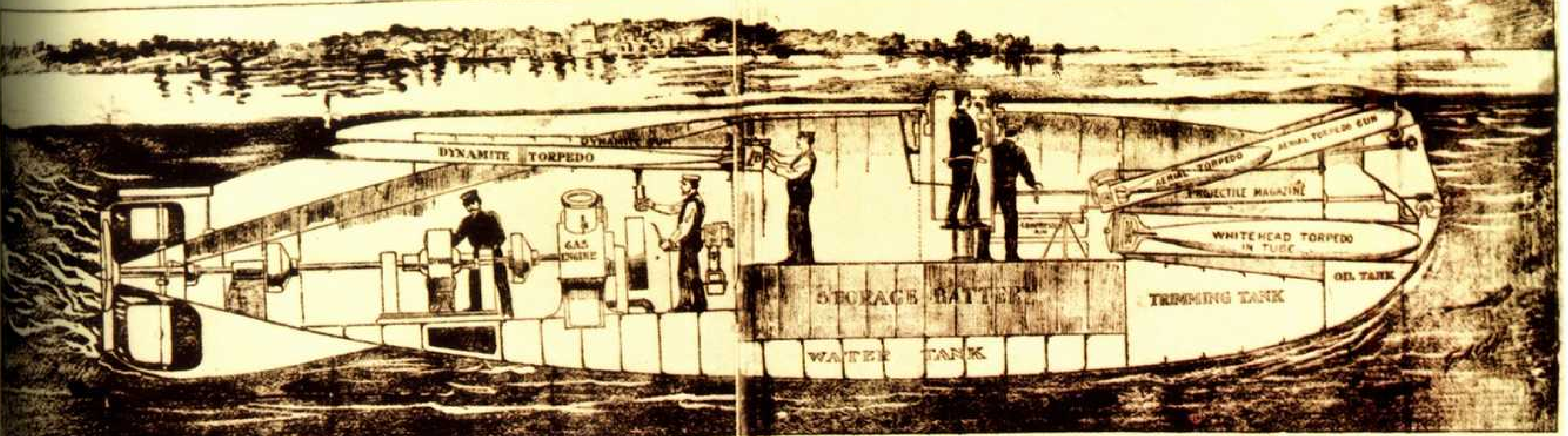


tánica..., el *Nautilus* tenía un casco de planchas de cobre sostenidas por cuadernas de hierro; tenía balastos, un timón horizontal, y podía permanecer en inmersión durante tres horas; su inventor le añadió luego reservorios de aire comprimido, que le permitieron alargar todavía más el tiempo de inmersión útil.

Los sistemas de propulsión de los submarinos, pronto plantearon problemas particulares. En una época en que la marina a vela triunfaba en superficie, había que encontrar otros medios de avance aparte del viento. El primero de todos fue la fuerza humana, remos o hélices accionadas a mano; evidentemente, el rendimiento de semejantes sistemas no habría de tener gran futuro. No por casualidad fueron los sumergibles los primeros en beneficiarse de la fuerza del vapor: había que tomar una decisión; cosa en verdad difícil. En efecto, había que apagar la caldera antes de cada inmersión... En cuanto se domesticó, pareció la mejor solución la propulsión eléctrica: no sólo permite buenos rendimientos, sino que tampoco contamina la atmósfera ya confinada de los submarinos. El *Nautilus* inglés de 1886 era enteramente eléctrico; su autonomía en superficie alcanzaba las 80 millas. El *Aigrette* francés fue el primer sumergible al que se dotó (en 1905) de motores Diesel. Los sucesores de este navío combinaron la propulsión Diesel, en superficie, y la propulsión eléctrica, en profundidad.

Las posibilidades militares de los sumergibles, puestas pronto de manifiesto, tenían su contrapartida en la escasa confiabilidad de estos ingenios. Numerosos accidentes jalonaron cada generación de submarinos, siendo los sufridos ocupantes humanos de estas máquinas las víctimas. Uno de los más difíciles problemas de resolver para mejorar la seguridad de los vehículos subacuáticos reside, simplemente, en los materiales del casco. Al sumergirse a algunas decenas de metros, hay que contrarrestar enormes presiones, que harían estallar como pompas de jabón los cascos clásicos. Los químicos tuvieron que inventar aceros especiales muy resistentes, pero que no fueran demasiado densos.

Por otra parte, un submarino debe tener la mayor autonomía posible, por lo que ha de cargar grandes cantidades de carburante. Esto requiere adoptar precauciones importantes, dado el poco espacio de que se dispone y los riesgos inherentes a cada inmersión. Fueron los alemanes, inmediatamente antes de empezar la primera guerra mundial, los que resolvieron







Los primeros submarinos. *La historia de los primeros sumergibles es totalmente militar, cual corresponde a la de los primeros medios de combate ocultos. La* Tortuga *de Bushnell se construyó en 1776 (página anterior, arriba). El* Nautilus *de Robert Fulton (en la página anterior, abajo a la izquierda) se propuso primeramente a Napoleón por su inventor americano. El* Brandtaucher *(página anterior, abajo a la derecha) fue concebido por Wilhelm Bauer para la Marina prusiana en 1850. Pero en el siglo* XIX *fue probablemente John Philip Holland el que hizo progresar más la tecnología de los submarinos. En esta misma página, arriba: el* Pez de acero, *de Holland, y su inventor (en esta página, abajo, a la izquierda). Arriba: un moderno submarino.*

toda una serie de cuestiones técnicas de este tipo (acero de los cascos, nuevos motores Diesel, etc.).

La vida de los submarinistas nunca fue plácida: confinados durante largos períodos en un habitáculo cerrado, los hombres debían tener sólidos nervios... Por lo demás, en los sumergibles militares, el espacio se reducía todavía más: el armamento ocupaba la mayor parte del volumen útil de los navíos. Los submarinos fueron utilizados en seguida como máquinas de ataque, mediante los tubos lanzatorpedos con que fueron dotados. Se convirtieron, así, en elemento estratégico importante, por su gran eficacia, en la primera guerra mundial. Su función se incrementó más todavía durante la segunda conflagración universal. En la actualidad, constituyen piezas esenciales del equilibrio del terror entre las dos grandes potencias. Francia basa igualmente en ellos su fuerza de disuasión nuclear.

En 1954, con el *Nautilus,* los americanos inauguraron la que tal vez algún día se llamará la «era de los submarinos nucleares». Este navío se hizo famoso en el mundo entero cuando llevó a cabo varias misiones frente a las costas de Groenlandia. Hyman C. Rickover fue el inspirador del programa *Nautilus*. La fuerza propulsora del barco la proporcionaba un reactor Westinghouse. El sumergible incorporaba material muy sofisticado, especialmente una brújula giroscópica *Sperry Mark 19*. Dotado también de ecosondas y de sondas clásicas, su expedición más famosa se efectuó en 1958. En ese año se sumergió bajo la banquisa polar (de la que hizo un levantamiento pasando por debajo).













El Nautilus. *Los submarinos accionados por energía nuclear (aquí a la izquierda, y arriba) abrieron una nueva era en la historia de la navegación. El primero fue el* Nautilus *americano. En la página anterior, arriba: la botadura del barco en Groton, Connecticut, el 21 de enero de 1954; abajo: el recibimiento triunfal en Nueva York, en 1958, tras pasar por primera vez bajo la banquisa.*

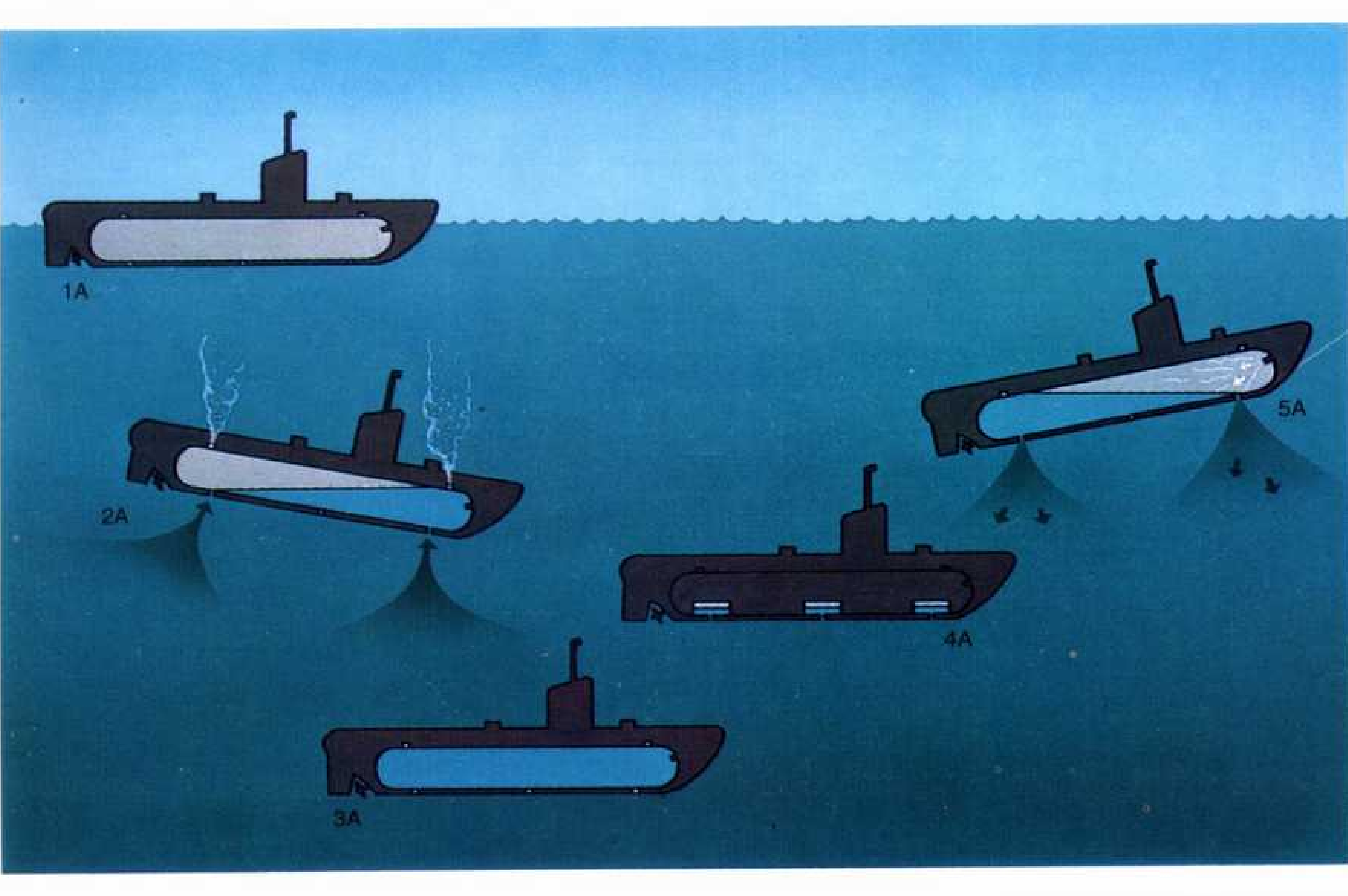
El interior de un submarino nuclear. *La tripulación (fotografías de arriba, a la derecha) debe no sólo resolver los problemas propios de la navegación —y los del armamento—, sino vigilar también el buen funcionamiento del reactor nuclear que hace girar las hélices y da a los sumergibles una autonomía en inmersión de centenares de miles de millas.*

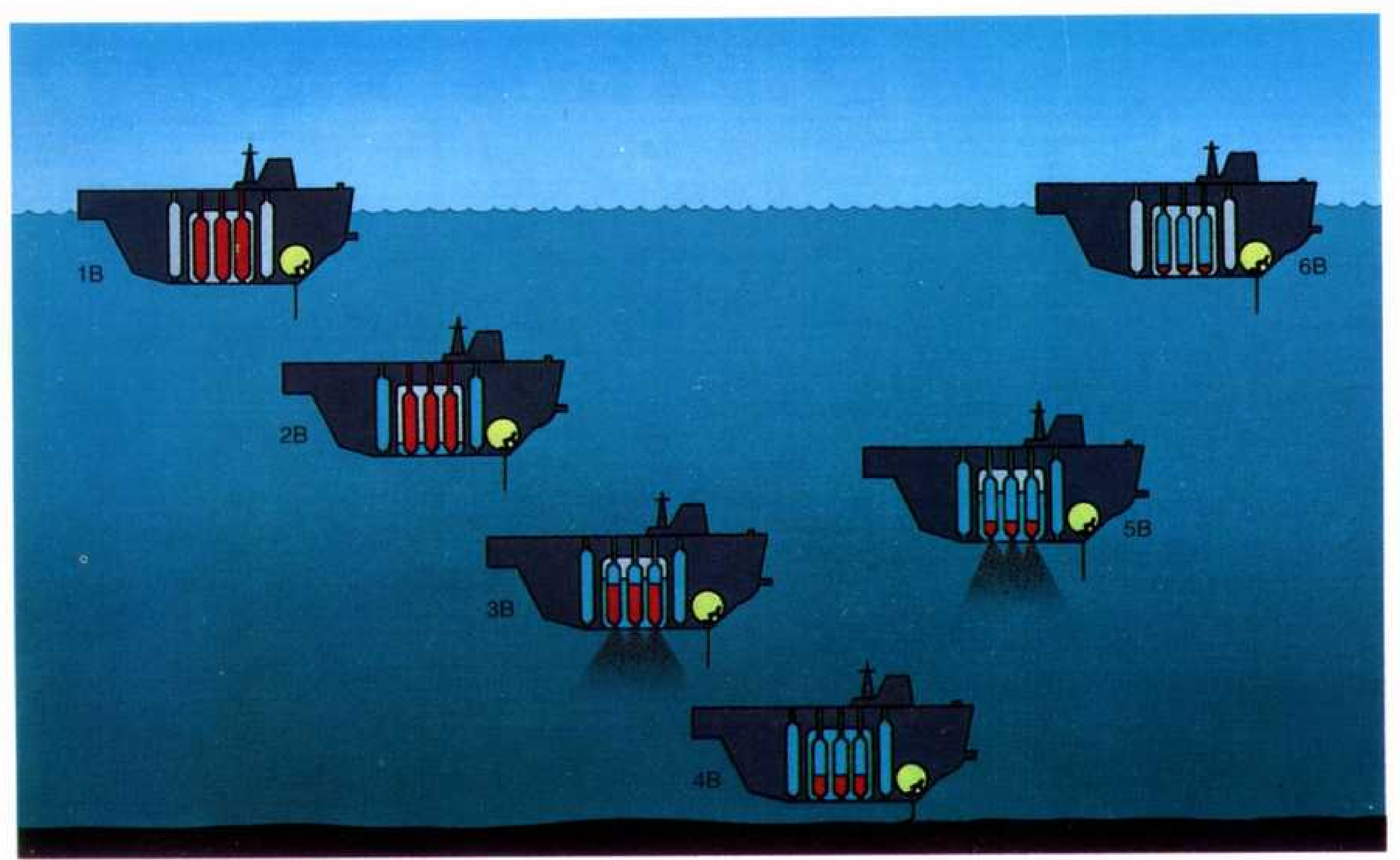
Las batisferas y los batiscafos

Las primeras escafandras que permitieron la inmersión profunda datan del año 1830. Un hombre equipado con ella tomó, en 1856, la primera fotografía submarina. Pero fue el americano William Beebe el primero que dio un paso importante hacia los abismos, cuando alcanzó 922 metros de profundidad a bordo de su batisfera, en 1934. Bajar a un hombre encerrado en una esfera metálica ultrarreforzada a unos 1.000 metros de profundidad al cabo de un cable, representa una auténtica hazaña. El barco de acompañamiento, en superficie, debe ser maniobrado con mano maestra, si se quiere evitar que el cable se rompa, cosa que sería fatal, evidentemente, para el ocupante de la esfera. Este, en contacto telefónico con el capitán del navío, podía advertirle de la presencia de obstáculos profundos. Pero aun así, el riesgo era demasiado grande.

Fue el suizo Auguste Piccard quien desarrolló, casi sin ayuda, la tecnología de los artefactos de inmersión a grandes profundidades, es decir, etimológicamente, de los batiscafos. Piccard había llevado a cabo numerosas incursiones en globo en la alta atmósfera. Entonces se le ocurrió utilizar igualmente para descender en el mar el principio de Arquímedes, que le había permitido explorar la estratosfera. El científico diseñó planos de varios ingenios, que desembocaron en la construcción del *Trieste*. Este auténtico «globo submarino» está hecho de acero y lleno de gasolina. Su densidad global es menor que la del agua de mar. Para descender, está cargado con barras de hierro que pueden largarse en ruta para permitir el ascenso. Las paredes del batiscafo, y sobre todo las del habitáculo inferior, donde se sitúan los dos pasajeros previstos, están calculadas para resistir presiones de más de una tonelada por centímetro cuadrado. Son de acero, con un espesor de 38 a 152 milímetros. Entre los numerosos instrumentos de a bordo, hay que citar un sonar, un ecómetro, proyectores, aparatos tomavistas, un sistema de navegación acústica, un trazador de ruta, una brújula giroscópica, etc. Un pequeño propulsor, movido por un motor eléctrico, permite que el ingenio se desplace en la dirección deseada. En este sentido, el batiscafo se parece más a un dirigible que a un globo aerostático. A bordo de este barco revolucionario fue cuando, el 23 de febrero de 1960, Jacques Piccard (el hijo del inventor) y el teniente de la Marina americana Don Walsh alcanzaron la profundidad récord de 10.911 metros en la vertiginosa fosa de las Marianas.

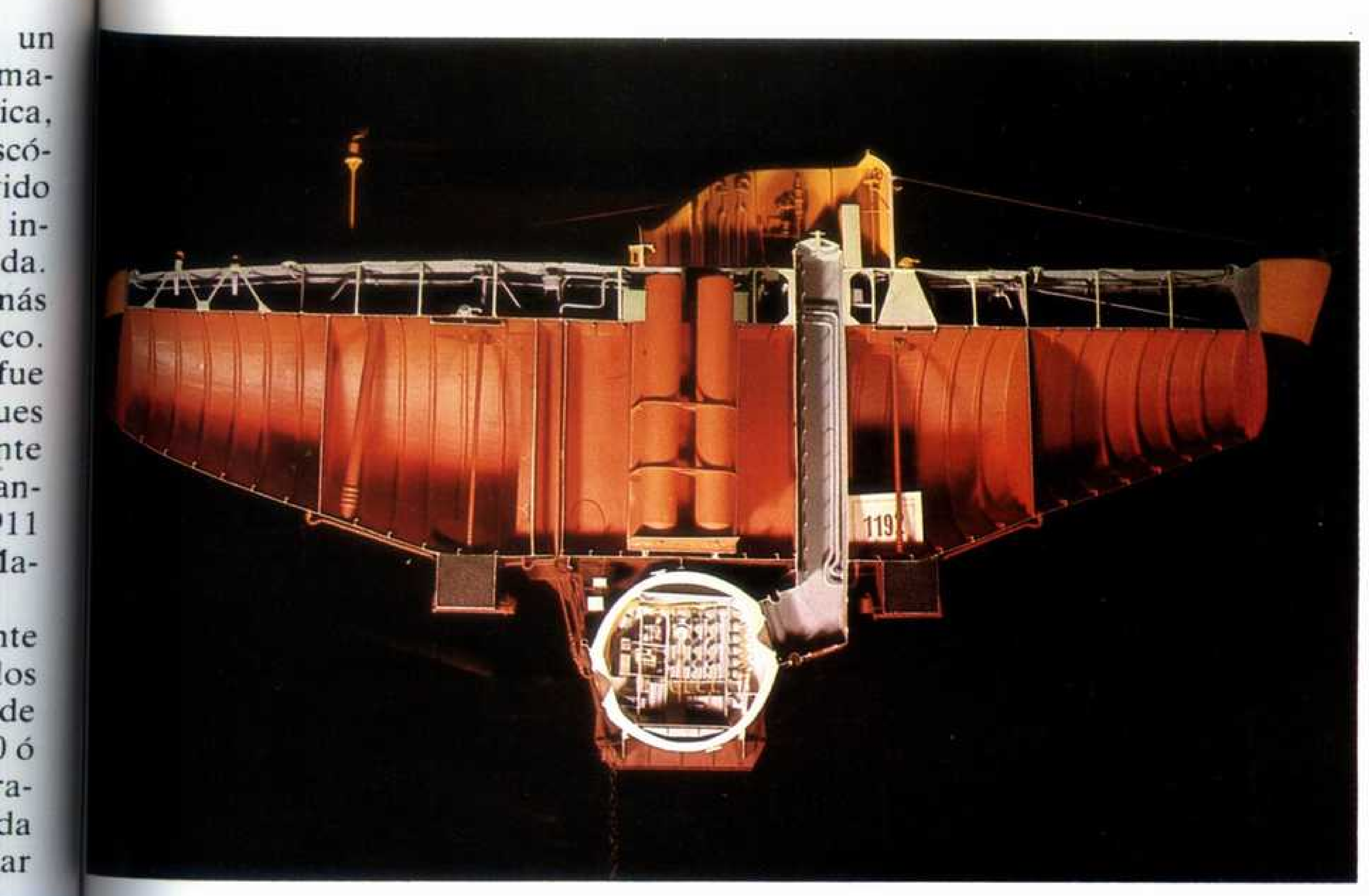
Ya en 1953, sin embargo, el comandante Cousteau y su equipo se dijeron que si los abismos eran interesantes como objeto de exploración, los fondos de menos de 300 ó 400 metros lo eran todavía más. Para trabajar en la plataforma continental, dotada de inmensas riquezas, había que contar







El funcionamiento del batiscafo. *Los submarinos clásicos (esquema de arriba a la izquierda) se sumergen llenando de agua sus balastos (1A, 2A), permanecen sumergidos con los balastos llenos (3A), utilizando incluso a veces balastos suplementarios (4A); luego emergen de nuevo arrojando agua de los balastos (5A). El principio de funcionamiento de los batiscafos es diferente (esquema de la izquierda, abajo). Estos sumergibles tienen un grueso casco. Al partir, su densidad es igual a la del agua de mar, pues tienen tanques llenos de gasolina (en gris). Para bajar, llenan de agua los balastos anexos (en azul) (1B, 2B). Llevan también reservas de lastre constituido por chatarra (en rojo). Para equilibrar el descenso, largan a veces un poco de lastre (3B). Cuando llegan al fondo (4B), su densidad es de nuevo igual a la del agua de mar. Para ascender (5B, 6B), largan lo que les queda de lastre, y vacían sus balastos de agua. En la página siguiente, arriba: corte del batiscafo* FNRS III, *proyectado por el profesor Piccard por encargo de la Marina francesa. Abajo: el batiscafo* Trieste, *construido por el mismo profesor Piccard y cedido a la Marina americana. Abajo, a la derecha: la cámara de observación del* Trieste.



con artefactos más resistentes a la presión, y sobre todo mucho más maniobrables que los submarinos convencionales. Fue tomando forma el concepto de «platillo buceador» poco a poco, y el primer sumergible de este tipo efectuó sus pruebas en 1959. También el platillo buceador es una especie de globo oceánico. Su peso específico es inferior al del agua de mar, y desciende merced a un lastre, que es largado al ascender. Pero su ventaja principal reside en su extraordinaria maniobrabilidad. El piloto puede subir, bajar, avanzar, retroceder y girar a voluntad.

Sus proyectores, sus dos portillas, sus cámaras, su pinza para recoger muestras, etcétera, lo convierten en un instrumento de trabajo sin par, que, por lo demás, ha sido más o menos copiado, a raíz de su invento y creación por nuestro equipo, un poco en todo el mundo.

Conquista de los espacios interiores

A principios de los años sesenta, se asistió a una auténtica efervescencia en el pequeño mundo de la exploración submarina. La carrera hacia las profundidades, y sobre todo hacia los inmensos espacios acuáticos que cubren las plataformas continentales, fue ocasión para una competencia encarnizada entre científicos e ingenieros de diferentes países. Las profundidades marinas fueron declaradas «nueva frontera», al igual que el espacio extraterrestre; y se pusieron en el mismo plano los logros de los sumergibles y los de los cohetes espaciales.

Por lo demás, ambos campos requieren técnicas semejantes. Las investigaciones dinámicas, la experimentación de los materiales, la introducción de la electrónica en los nuevos aparatos, los controles de calidad, etc.: todo ello aprovecha por igual a la industria aeroespacial y a la de los sumergibles. Naturalmente, en el ámbito marino, los principales financieros de las tecnologías avanzadas son, por una parte, los militares, y, por otra, los petroleros.

En 1963, el submarino nuclear americano *Thresher* naufragó frente a las costas de Nueva Inglaterra, y se fue a pique a 2.400 metros de profundidad. Crudamente se comprobó entonces que era imposible intervenir a profundidades semejantes. Y se comenzó por decir que había que proyectar urgentemente un sumergible capaz de trabajar en los grandes fondos, si no para rescatar a las tripulaciones de todos modos perdidas, por lo menos para subir a la superficie las bombas nucleares de los submarinos militares...

Esta necesidad se puso aún más de manifiesto cuando, en enero de 1966, frente a las costas de Palomares, en España, un bombardero *B-52* de la Air Force se precipitó en el Mediterráneo como consecuencia de una colisión con un avión cisterna. Era imperativo, ineludible, recuperar las bombas H contenidas en los pañoles del *B-52*. En esta inédita tarea se utilizaron tres sumergibles ya construidos para entonces: el *PC 3B Cubmarine,* de la Perry Oceanographics; el *Alvin,* del Woods Hole Oceanographic Institute, y el *Aluminaut,* de la Reynolds International. Estos tres ingenios de investigación y de intervención localizaron por fin las cargas nucleares. Otro sumergible sin tripulación, y por tanto enteramente teledirigido, el *C.U.R.V.,* proporcionó la prueba de su eficacia logrando pasar los cables que permitieron subir las bombas. Las operaciones para poner a flote las peligrosas cargas fueron dirigidas desde la superficie, y llevadas a cabo merced a las imágenes proporcionadas por las instalaciones de televisión en circuito cerrado, capaces de operar a menos 1.000 metros.

LOS SUMERGIBLES DE INVESTIGACION OCEANOGRA

Trieste	*Dimensiones*	*Profundidad máxima*	*Duración máxima de inmersión*	*Tripulación*	
Trieste	*L:* 18,15 m *A:* 3,50 m *A:* 8 m	13000 m	10-12 horas	3	*Proyectado por e fesor Piccard, ut en misiones e Mediterráneo (19 y luego cedido Marina americana.*
Archimède	*L:* 22,1 m *A:* 5 m *A:* 9,1 m	11000 m	10 horas	3	*Es el único sume en Europa capa alcanzar las ma profundidades. tenece a la Ma nacional francesa.*
Aluminaut	*L:* 15,5 m *A:* 4,87 m *A:* 5,02 m	4450 m	30 horas	(2-) 7	*Es totalmente de minio, como su no indica. Pensado a l para rescate y pa investigación oce grafía, lo emplean todo las comp petrolíferas.*
Franklin	*L:* 14,75 m *A:* 6,16 m *A:* 6,40 m	600 m	42 días	6	*Proyectado por el fesor Piccard, está tinado a las profu dades medias. Tiene notable autonomía inmersión, y su am espacio interior pa acoger numerosos complejos paratos c tíficos.*
Cyana	*L:* 5,7 m *A:* 3,04 m *A:* 2,10 m	2980 m	72 horas	3	*Construido por C.E.M.A. bajo dirección del coma dante Cousteau, el platillo buceador fu luego adquirido por C.N.E.X.O. francés q lo utiliza en divers misiones.*
Deep Quest	*L:* 12,19 m *A:* 5,79 m *A:* 4,04 m	2520 m	18 horas	(2-) 4	*Este platillo, utilizad tanto para mision militares como civile se caracteriza por s casco sumamente re sistente y por su aparatos de medida control.*
Deep Star 4000	*L:* 5,5 m *A:* 3,5 m *A:* 2,13 m	1220 m	12 horas	(1-) 3	*La tripulación de platillo americano aloja en un habitác esférico de acero. funcionamiento de aparatos de a bordo aseguran tres bater*

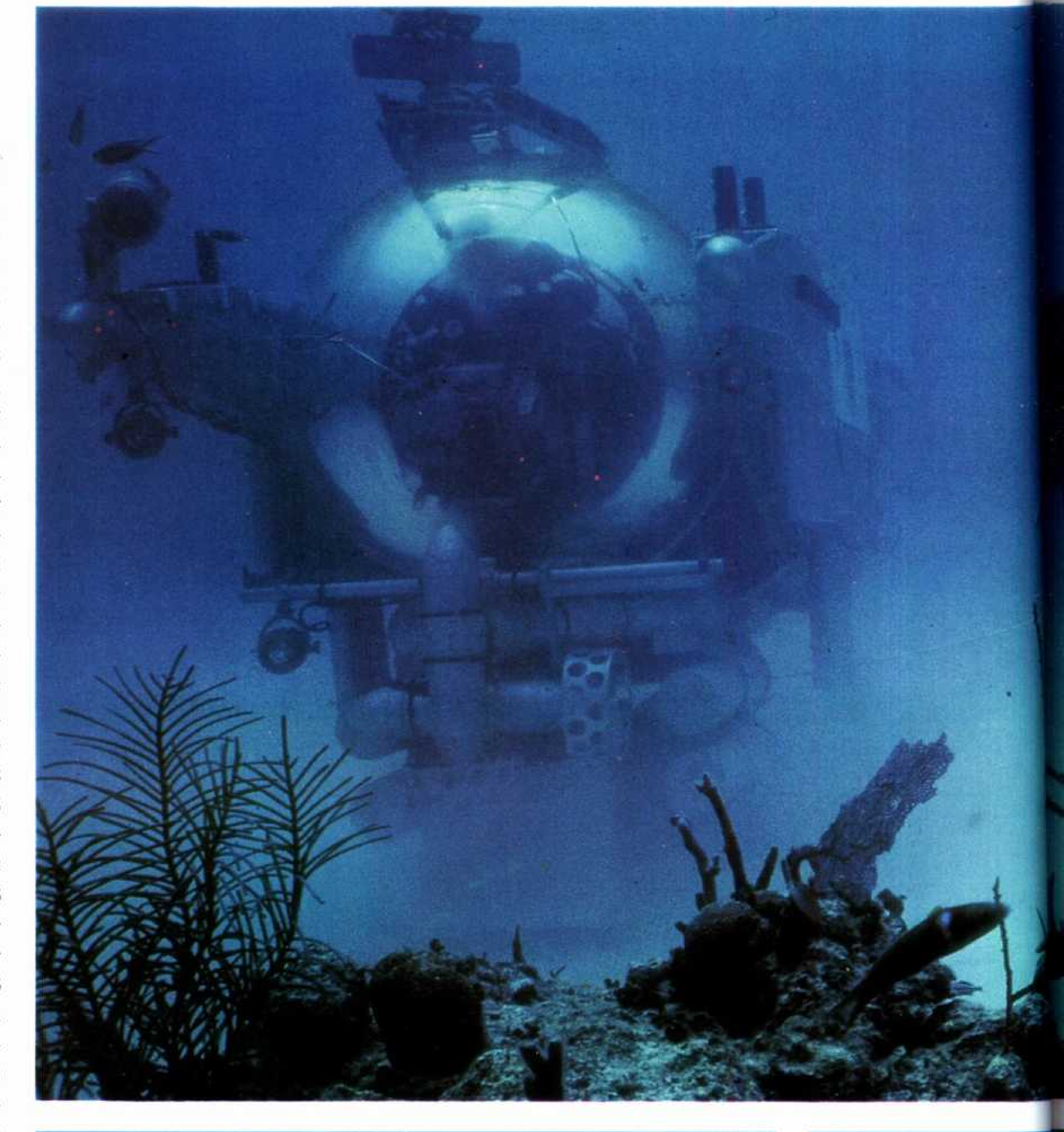
SUS PRICIPALES CARACTERISTICAS

	Dimensiones	Profundidad máxima	Duración máxima de inmersión	Tripulación	
Dowb	*L:* 5,48 m *A:* 2,65 m *A:* 3,20 m	1960 m	26 horas	2	*Pensado principalmente para usos científicos, este sumergible posee un sistema de portillas que permite ver en 360º.*
SP 350	*L:* 2,90 m *A:* 2,90 m *A:* 1,67 m	350 m	4 horas	2	*El platillo buceador del comandante Costeau, especialmente estudiado para explorar la plataforma continental, ha cobrado una justa celebridad. Su maniobrabilidad es excepcional, y dispone de aparatos fotográficos y pinzas para obtención de muestras.*
Star II	*L:* 5,18 m *A:* 1,52 m *A:* 2,28 m	366 m	8 horas	2	*Este minisumergible está particularmente adaptado para las investigaciones en los fondos rocosos o coralinos. Tiene un brazo mecánico y un receptáculo para recoger muestras.*
Asherah	*L:* 5,17 m *A:* 2,30 m *A:* 2,30 m	196 m	8 horas	2	*Construido en 1964, este sumergible de bolsillo se emplea especialmente para misiones de arqueología submarina. Pero sirve también en todos los campos (investigación petrolera, oceanografía general, etcétera).*
Nekton gamma	*L:* 4,58 m *A:* 1,05 m *A:* 1,81 m	300 m	4 horas	2	*Otro sumergible "todo terreno". Ha sido empleado en misiones de oceanografía biológica, pero también de geología o de asistencia.*
PC - 15	*L:* 9,75 m *A:* 2,43 m *A:* 2,43 m	365 m	15 horas	4	*Su originalidad estriba en su forma, que es modular. Posee un sistema de pilotaje sofisticado, que le confiere una gran libertad de movimientos.*
DSRV 1	*L:* 15 m *A:* 2,42 m *A:* 2,42 m	1500 m	12 horas	3	*Es un módulo de rescate para intervenir sobre los submarinos clásicos (especialmente militares) en dificultades. La Marina lo ha utilizado en diferentes ocasiones.*

El modo de construir los sumergibles se ha ido perfeccionando con el paso de los años. Se ha llegado a ingenios próximos a la esfera (el mayor volumen para la menor superficie ofrecida a la presión), que incorporan chasis para las baterías, los motores y las piezas anexas. Los cascos, en un principio de acero, han aprovechado los progresos de la metalurgia (aleaciones superresistentes) y luego los de la química de los plásticos. Hacia finales de los años sesenta aparecieron los primeros proyectos de sumergibles de esferas múltiples: un buen ejemplo de este tipo de vehículos submarinos es el D.S.R.V. *(Deep Submergence Rescue Vehicle,* «vehículo de rescate a gran profundidad»*)*, de la Marina americana; este ingenio está constituido por tres compartimientos redondeados, unidos entre sí por esclusas. Las esferas múltiples permiten aumentar el volumen útil del sumergible, sin tener que enfrentarse a los problemas casi insolubles de la resistencia de los cascos. El D.S.R.V. puede sumergirse a 11.000 metros. Está especialmente proyectado para rescatar las tripulaciones de los submarinos militares en dificultades. En cada viaje, pueden subir a la superficie 24 hombres.

Características y funciones. *En la actualidad, el uso de los diversos tipos de submarinos civiles es patente. Estos han prestado servicios en todos los campos: oceanografía física y química, biología marina, investigación geológica y petrolera, rescate de tripulaciones, etc. Cada ingenio posee sus propias peculiaridades (autonomía, profundidad de inmersión máxima, etcétera), que se han proyectado con fines muy precisos. Los batiscafos han de poder resistir formidables presiones que reinan en los abismos y en las más vertiginosas fosas. Otros sumergibles, como el* Aluminaut *y los platillos* Cyana *y* Deep Quest, *pueden descender a grandes profundidades, sin llegar a las de los batiscafos, pero con una mejor maniobrabilidad que estos últimos. La mayoría de los platillos buceadores y los platillos «de bolsillo» deben trabajar esencialmente en la plataforma continental, es decir, a profundidades inferiores a los 200-300 metros. Les falta ciertamente un casco resistente, algo que no constituye un gran problema. Lo que se les pide es sobre todo maniobrabilidad. Estos sumergibles deben llevar además instrumentos de investigación y de recogida de muestras. La mayoría de los modelos en funcionamiento han sido pensados y realizados en el curso de los años sesenta. Puede decirse que, por diversas razones coyunturales (precio del petróleo, etcétera), la imaginación se ha frenado sensiblemente en el curso de los años setenta (cosa muy de lamentar, sin duda).*

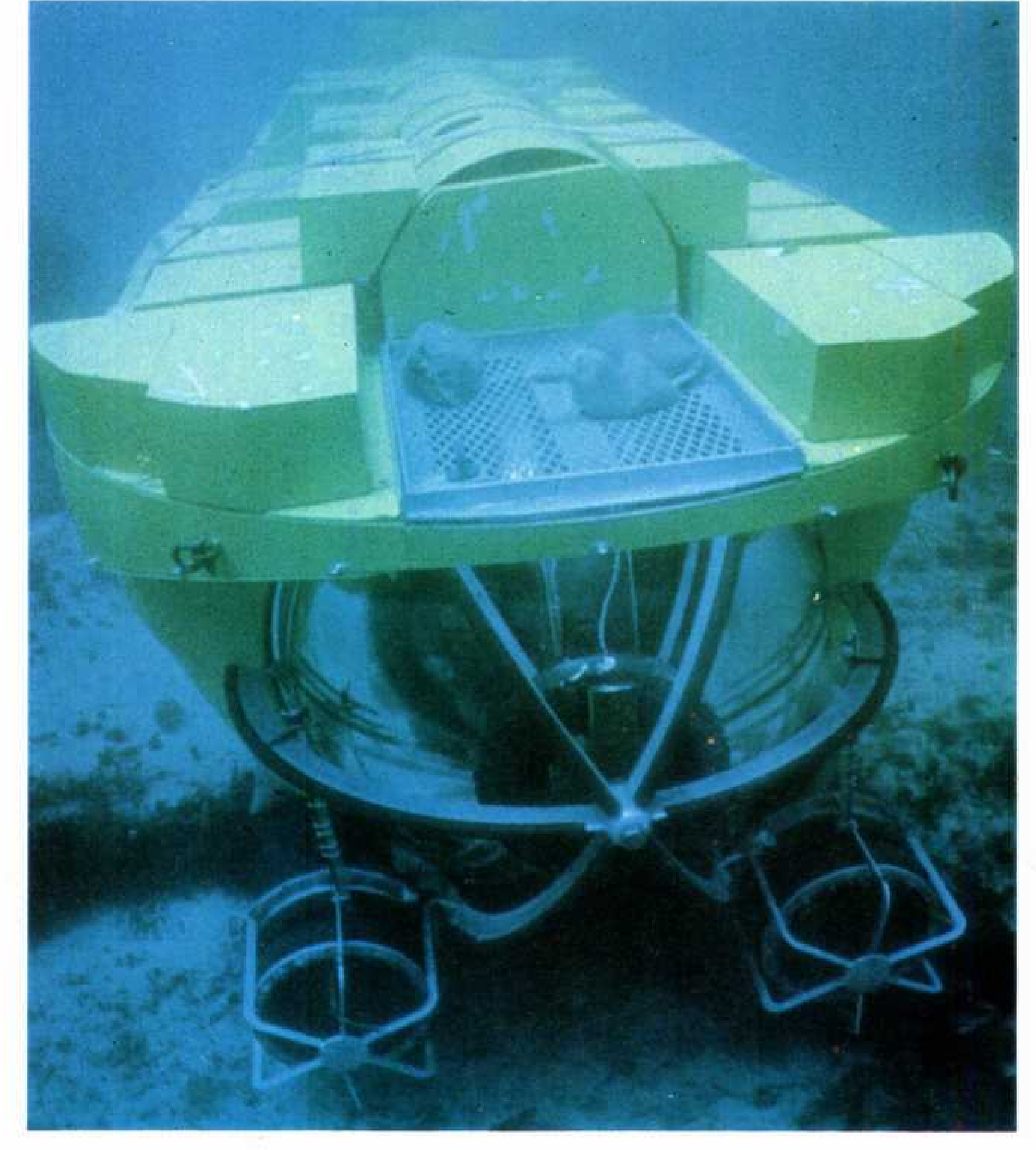
Prototipos para aplicaciones industriales



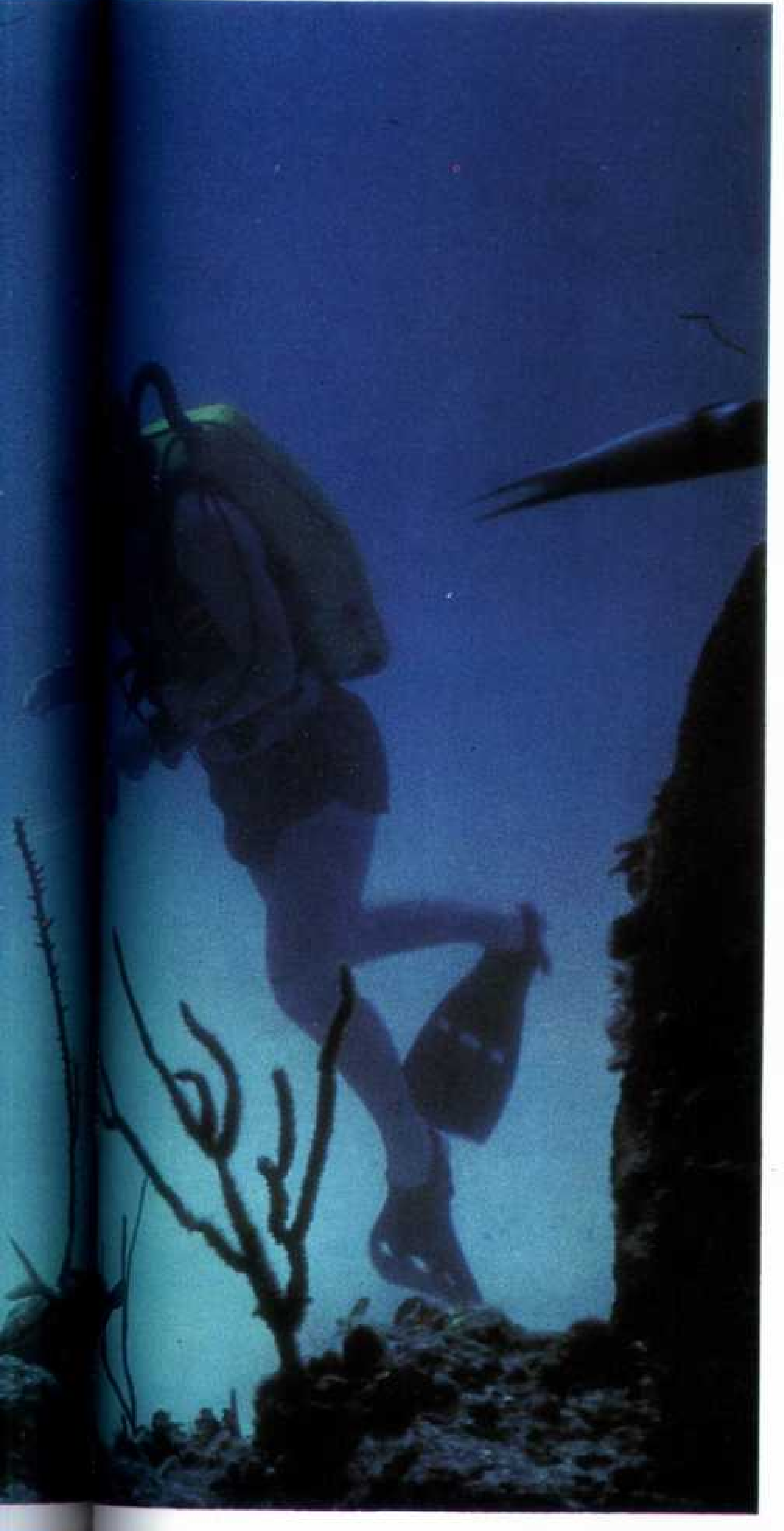
HACIA los años sesenta, los investigadores científicos se fueron familiarizando con el empleo de los sumergibles. Los geólogos y biólogos fueron los primeros en utilizar con provecho estos vehículos. Comprendieron de inmediato la importancia de estudiar *de visu* la estructura y las poblaciones de los fondos marinos. Entre la obtención de muestras al azar, con una draga, desde la superficie, y el recogerlas por medio de una pinza, inspeccionando por sí mismo el suelo oceánico, hay todo un mundo. En el primer caso se está en la incertidumbre; en el segundo se toma lo más representativo que hay, se inserta la muestra inmediatamente en su entorno, se pueden hacer generalizaciones inmediatas, etc. El geólogo comprende, también de inmediato, ante qué estructuras se encuentra. El especialista en vida abisal puede calcular las poblaciones animales que halla, etc. Para los oceanógrafos fueron una bendición los primeros sumergibles prácticos y «espaciosos», gracias a los cuales se pudieron por fin comprobar sus hipótesis sobre las grandes profundidades, al tener acceso directo a ellas. Antes de los minisumergibles de investigación estudiaban los abismos a distancia; con ellos iban a verlos *in situ;* igualmente, en los años sesenta, los astrónomos pasaron del estudio de la Luna con el simple telescopio al análisis de las placas de cerca y de las rocas de nuestro satélite traídas por las sondas espaciales... Pero —como ocurre también con la conquista espacial— los científicos «puros» se toparon rápidamente con problemas de financiación. Los submarinos de exploración, así como los cohetes y las cápsulas de los astronautas, son terriblemente caros. Los programas civiles de investigación han sido gradualmente recortados.

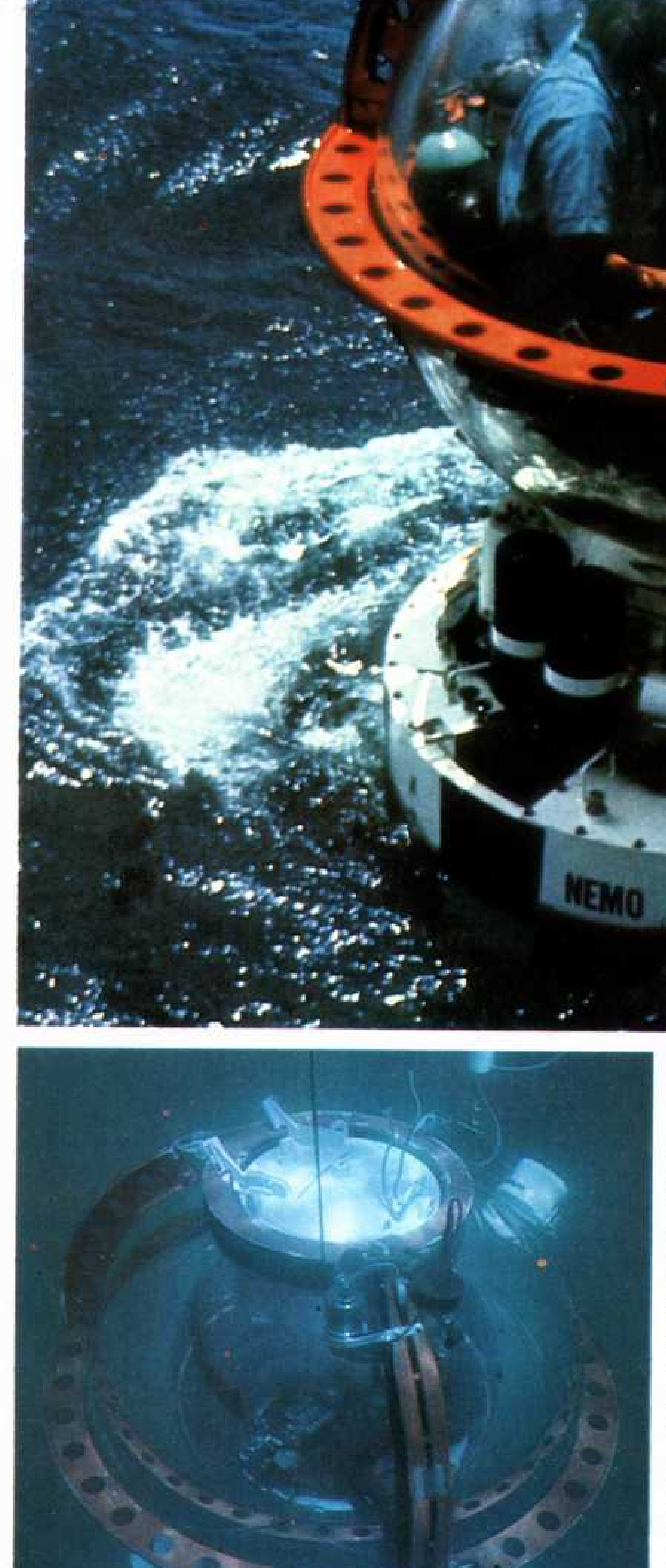
Los constructores de sofisticados sumergibles pensaron por un momento poder sobrevivir (e incluso prosperar) gracias a los encargos de la industria, en primer lugar de la industria petrolera.

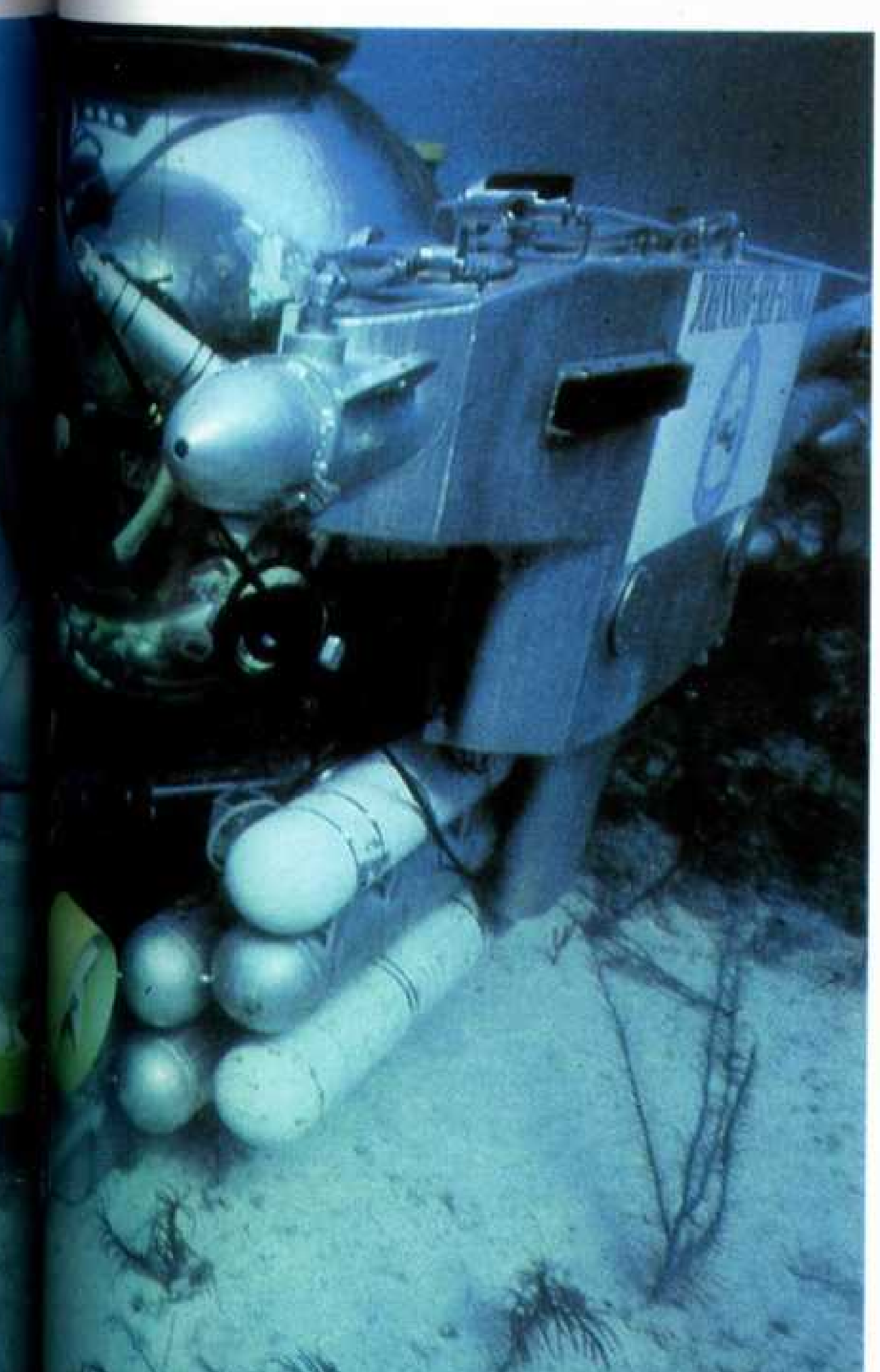
Así, el *Nekton* de la Generals Oceanographics jugó un papel capital en la instalación de un oleoducto de gran caudal en el golfo de México. Para intervenir sobre las cabezas de los pozos petrolíferos, se ha recurrido a los submarinos «escupebuzos», como el *Deep Diver* y el *Shelf Diver* de la Perry Oceanographics, entre otros. En este último tipo de artefactos, el piloto se mantiene a la presión atmosférica normal. Los buceadores, en una cámara de compresión y de descompresión, pueden salir del submarino, trabajar en el











Una ventana bajo el mar. *Los sumergibles de esta doble página poseen en común la característica de estar dotados de portillas panorámicas, por lo que están especialmente adaptados a las misiones de observación del medio subacuático. Arriba, a la izquierda, y abajo, en medio: el* Johnson Sea Link. *Abajo, a la izquierda: el* Deep View. *Arriba y abajo, a la derecha: el* Nemo, *en superficie y en inmersión.*

fondo y volver a descomprimirse en seco una vez acabada su labor.

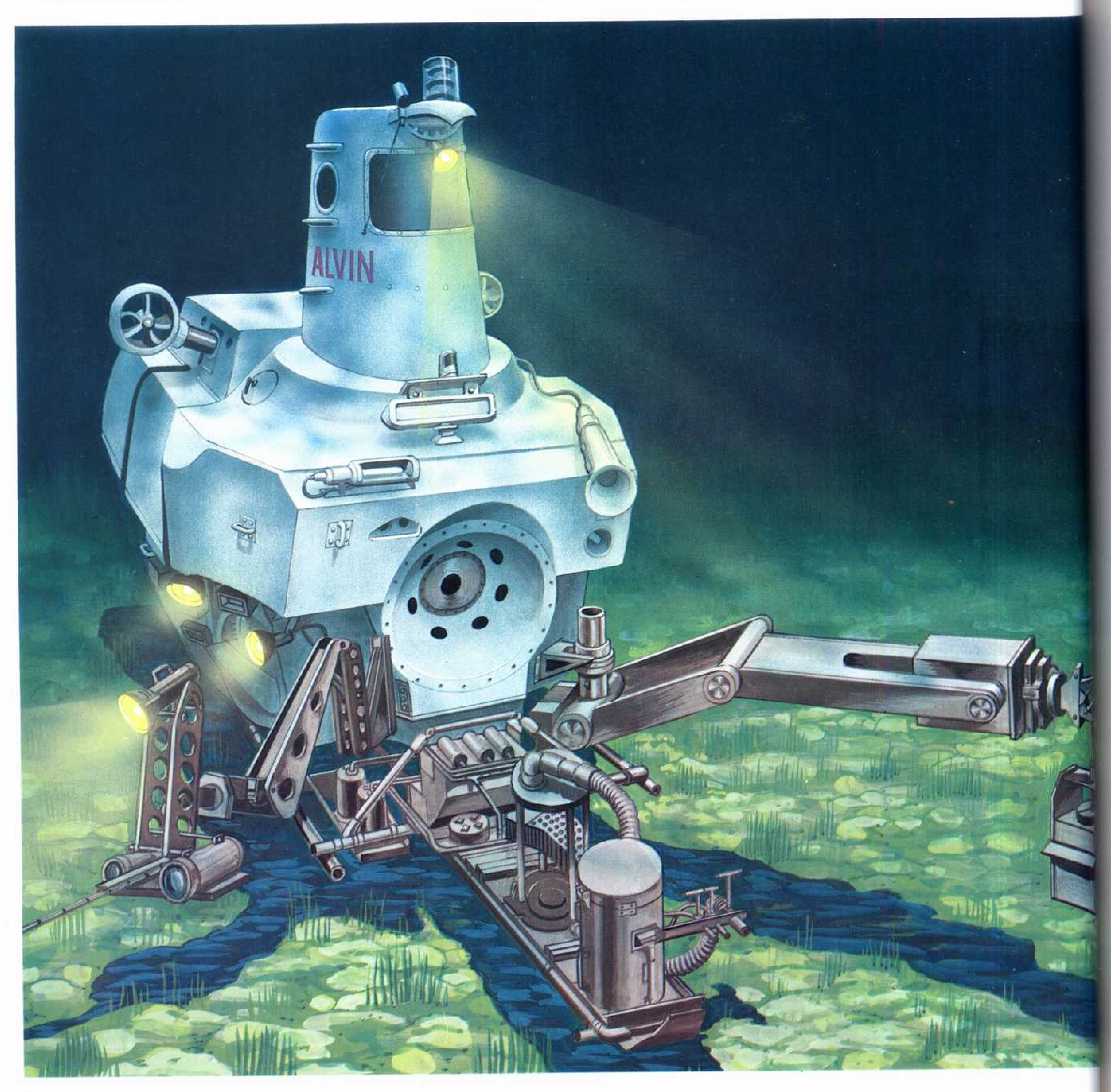
Sin embargo, a pesar de estas misiones de tanto interés, los constructores de los sumergibles civiles no han visto aumentar los encargos. Al tiempo que los créditos de los estados y de los organismos de investigación universitarios escaseaban, los petroleros preferían métodos de control y de intervención automáticos, mucho menos fiables, desde luego, que los sumergibles, pero también mucho menos caros.

La misión FAMOUS

El interés de los sumergibles de investigación se ha puesto de manifiesto en numerosas inmersiones. En el campo de la geología y de la geofísica, su eficacia es sorprendente. El platillo buceador del *Calypso* había dado pruebas de ello en numerosas ocasiones. En especial, había fotografiado los fondos basálticos de la gran cadena volcánica medio-oceánica, sumergiéndose en aguas de las Azores.

A idéntica tarea se consagró también el proyecto FAMOUS *(French American Mid-Oceanic Undersea Survey,* «estudio franco-americano submarino medio oceánico»*)*. Iniciado en 1973, se utilizaron en él tres sumergibles: el *Archiméde,* de la Marina nacional francesa; el platillo buceador *Cyana* (ex *S.P. 3.000*), del Centro Nacional para la Explotación de los Océanos, y el *Alvin* americano. En total se llevaron a cabo 47 inmersiones en la región de las Azores, a profundidades entre los 2.070 y los 2.860 metros. La ubicación de los sumergibles durante el trabajo era constantemente registrada por las unidades de superficie, de modo que se obtuvo un conjunto de datos sobre los fondos que visitaban. Se tomaron más de 100.000 fotografías del fondo y centenares de muestras de rocas, de sedimentos y de agua, para analizarlas. Los geólogos se sumergieron personalmente a bordo de los sumergibles, y pudieron estudiar con sus propios ojos las fallas y fisuras volcánicas. Confirmaron, así, que la gran cadena medio-atlántica es lugar de ascenso de materiales magmáticos procedentes del corazón del globo terrestre. Estas lavas, muy fluidas, basálticas, se ponen de manifiesto adoptando en contacto con el agua formas típicas, llamadas «en almohada» *(pillow-lava)*.

Pero los descubrimientos no fueron sólo de orden geofísico. La misión FAMOUS acreditó la tesis de la deriva de los conti-





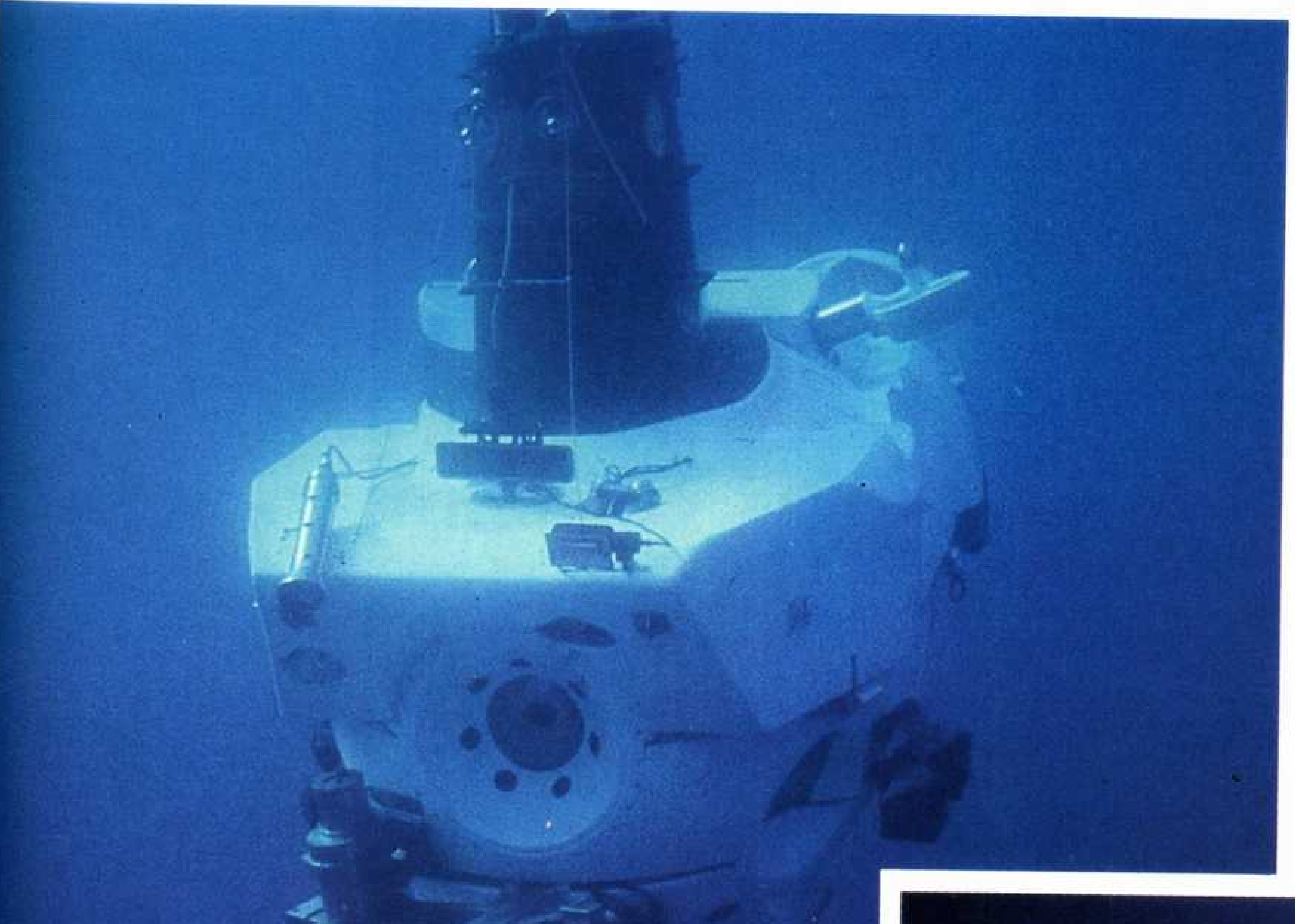
El Alvin. *Fue utilizado especialmente en el transcurso de la misión FAMOUS con el batiscafo* Archiméde *y el platillo* Cyana. *Es un sumergible dotado de un motor principal y de un par de motores auxiliares. En el dibujo de la página anterior y la fotografía de abajo se ve, en especial, un brazo articulado recolector de muestras.*

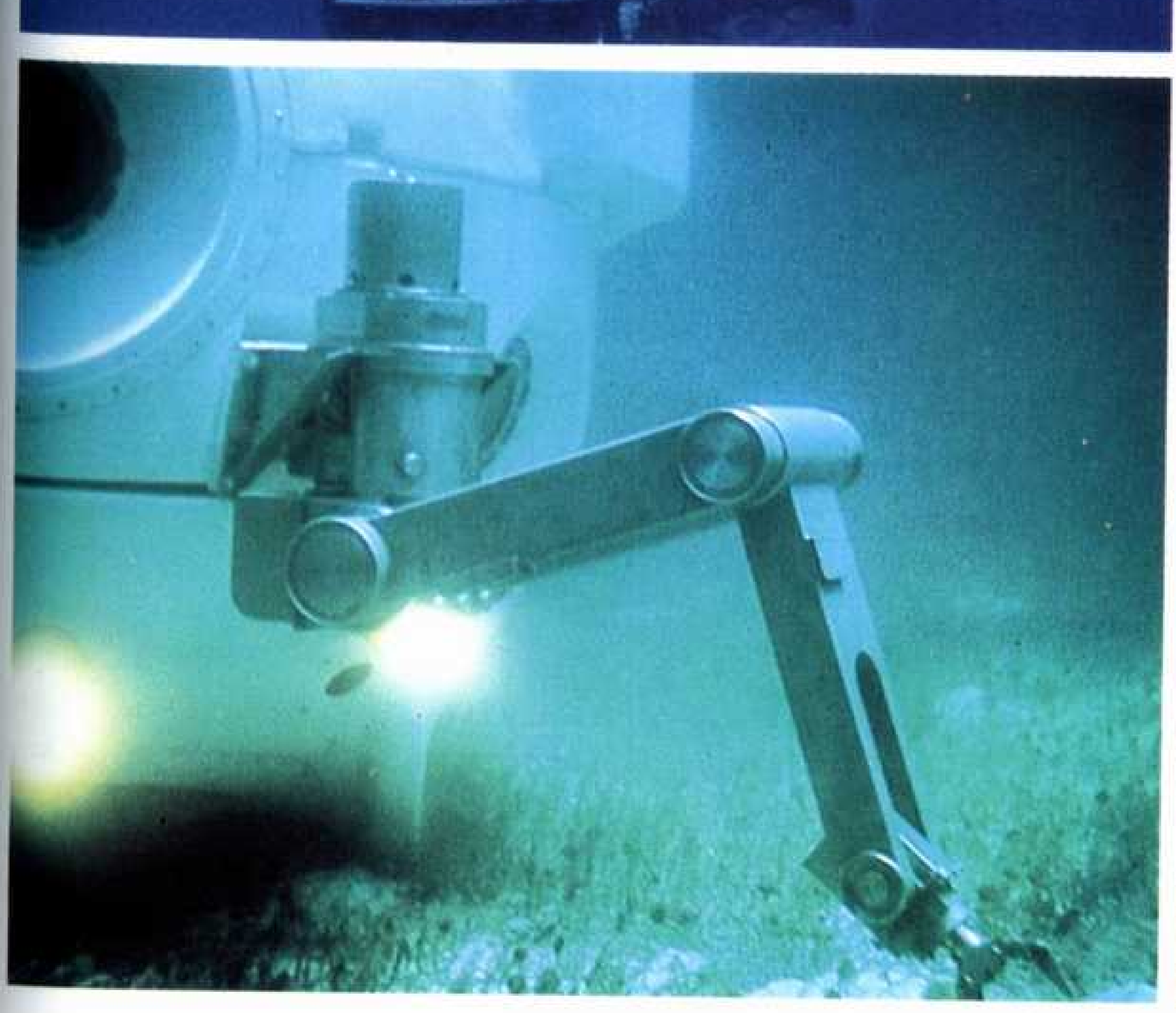
nentes, y ofreció pruebas directas en favor de la hipótesis de la tectónica de placas. Aportó también gran cantidad de otros datos, especialmente en el campo de la biología.

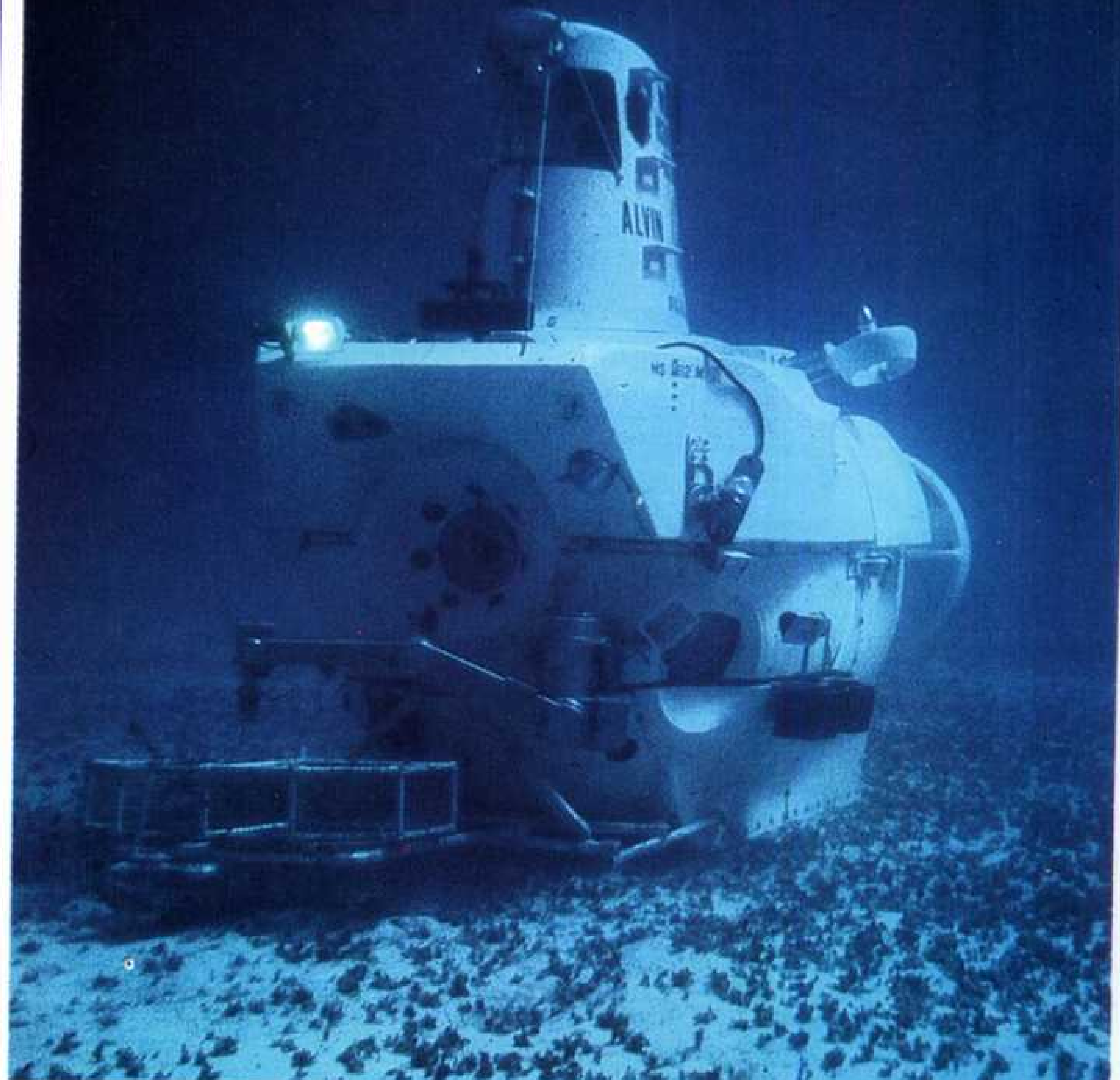
El *Alvin* americano, en compañía de un vehículo submarino teledirigido, participó igualmente en una campaña de investigaciones muy fructífera en aguas de las islas Galápagos. Las fotografías y muestras obtenidas en estas expediciones demostraron que en este punto del Pacífico (pero también, probablemente, en el fondo de otras regiones oceánicas) existen manantiales de agua caliente hipersalada. Allí, a 2.500 metros de profundidad, hay una auténtica fábrica química: los minerales alcanzan concentraciones excepcionales, y el calor da vida a una curiosa fauna. Esta última nace, por así decir, de la energía calorífica de la química local, como, por lo demás, viven los animales y las plantas de la energía calorífica y luminosa del Sol. Entre las criaturas de estos originales ecosistemas se encuentran moluscos (especialmente bivalvos) y grandes gusanos.

La utilidad de los sumergibles (pilotados desde el interior o teledirigidos) para las investigaciones oceanográficas, petrolíferas, industriales, militares, etc., parece hoy por hoy evidente. Pero todo es cuestión de costos y de rentabilidad.

Mientras a medio y largo plazo se está seguro del desarrollo de estos ingenios de observación y de intervención, a corto plazo su renovación y su desarrollo parecen comprometidos.

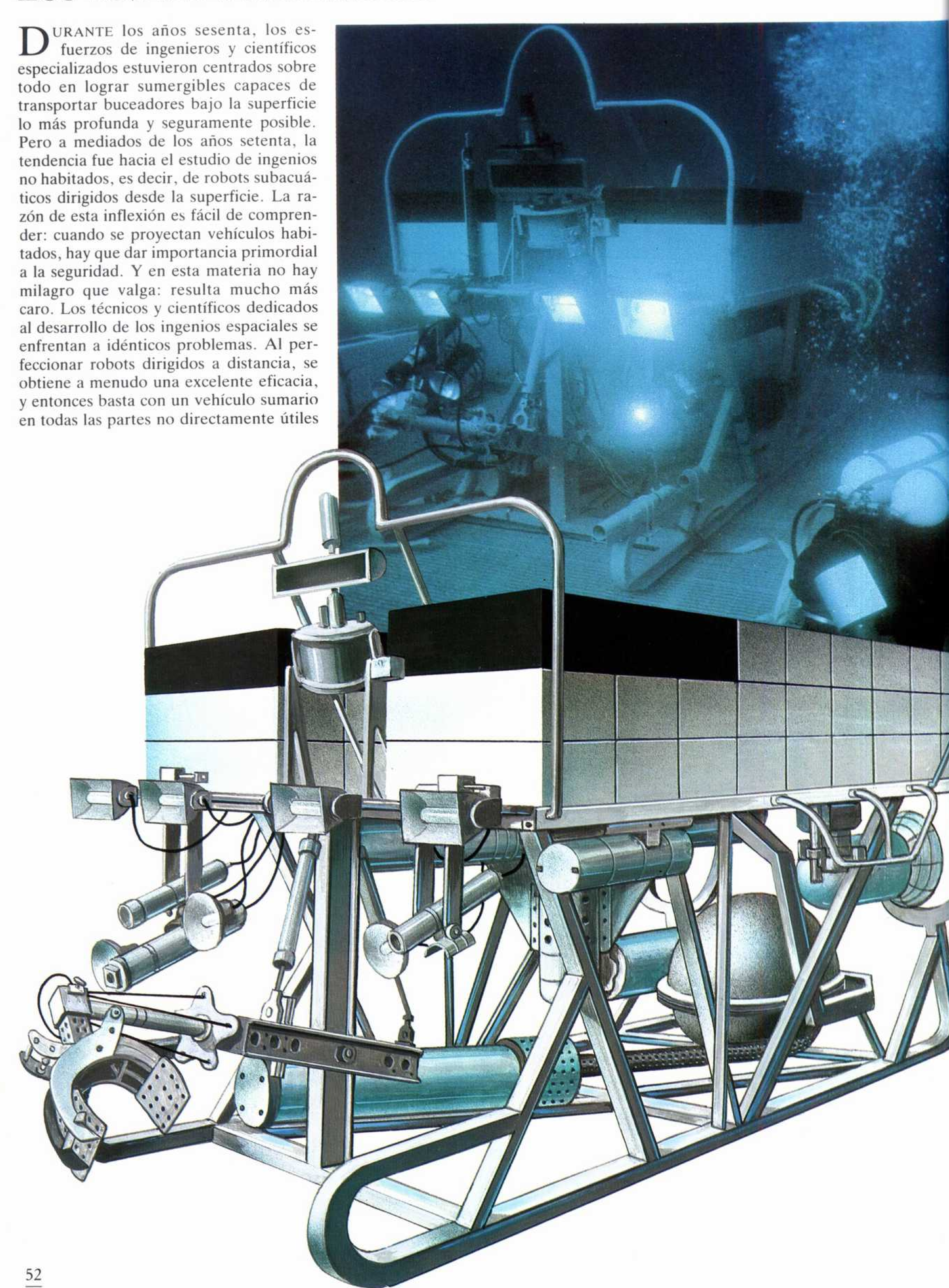


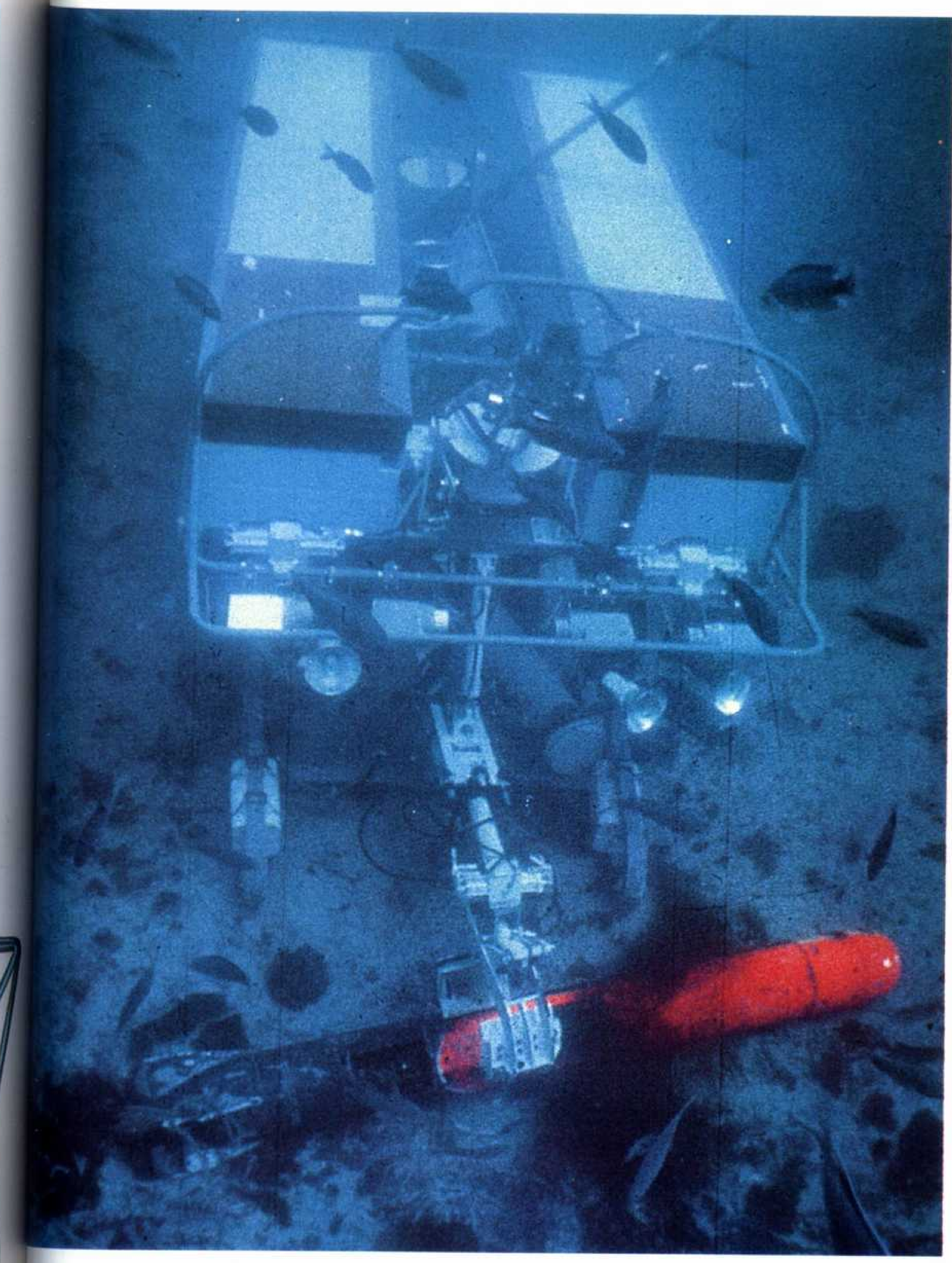




Los robots submarinos

DURANTE los años sesenta, los esfuerzos de ingenieros y científicos especializados estuvieron centrados sobre todo en lograr sumergibles capaces de transportar buceadores bajo la superficie lo más profunda y seguramente posible. Pero a mediados de los años setenta, la tendencia fue hacia el estudio de ingenios no habitados, es decir, de robots subacuáticos dirigidos desde la superficie. La razón de esta inflexión es fácil de comprender: cuando se proyectan vehículos habitados, hay que dar importancia primordial a la seguridad. Y en esta materia no hay milagro que valga: resulta mucho más caro. Los técnicos y científicos dedicados al desarrollo de los ingenios espaciales se enfrentan a idénticos problemas. Al perfeccionar robots dirigidos a distancia, se obtiene a menudo una excelente eficacia, y entonces basta con un vehículo sumario en todas las partes no directamente útiles





El **CURV III.** *Este robot submarino teledirigido desde la superficie es el más perfecto de la serie* CURV. *Opera hasta profundidades de 2.300 metros. Está dotado de un brazo articulado particularmente preciso y eficaz. Arriba, recuperando un torpedo en el curso de un experimento de prueba. El fue el que subió a la superficie las bombas nucleares perdidas en Palomares en 1966, tras el choque de dos aviones en vuelo.*

para el cometido que ha de realizar. El gran desarrollo de la electrónica en el curso de los años setenta, así como el abaratamiento de los costos de componentes y ordenadores, han jugado también un papel importante en favor de la automatización. Naturalmente, el robot sigue siendo siempre robot: por más programado que esté, nunca será una criatura inteligente; ni sabrá reaccionar ante una situación imprevista. Esta incapacidad podrá ser superada en la medida en que al ingenio se le dote de «órganos de los sentidos» («palpadores», cámaras de televisión, etc.), y en que se le pueda dictar la forma de comportarse a distancia, desde la superficie. Como ocurre en el espacio, la solución está en una sucesión de secuencias, automáticas unas (en la que electrónica y ordenadores hacen maravillas), y las otras pilotadas manualmente (y en las que el cerebro humano da la medida).

La oceanografía requiere de un gran número de operaciones de rutina, para las cuales los autómatas están perfectamente adaptados. Así, cuando de recoger muestras se trata (agua, sedimentos, etc.) o de llevar a cabo levantamientos sistemáticos (temperaturas, salinidad, etc.), un artefacto teledirigido es muy superior a un equipo humano. Resulta menos caro, y procede a la recogida de muestras de forma más regular que un grupo de buceadores o de ayudas científicas desde el puente del barco. Asimismo, interesa recurrir a los robots subacuáticos para efectuar levantamientos fotográficos en serie, pues se pueden programar los intervalos entre las tomas casi a una milésima de segundo. Lo mismo ocurre con los numerosos compartimientos de la investigación submarina.

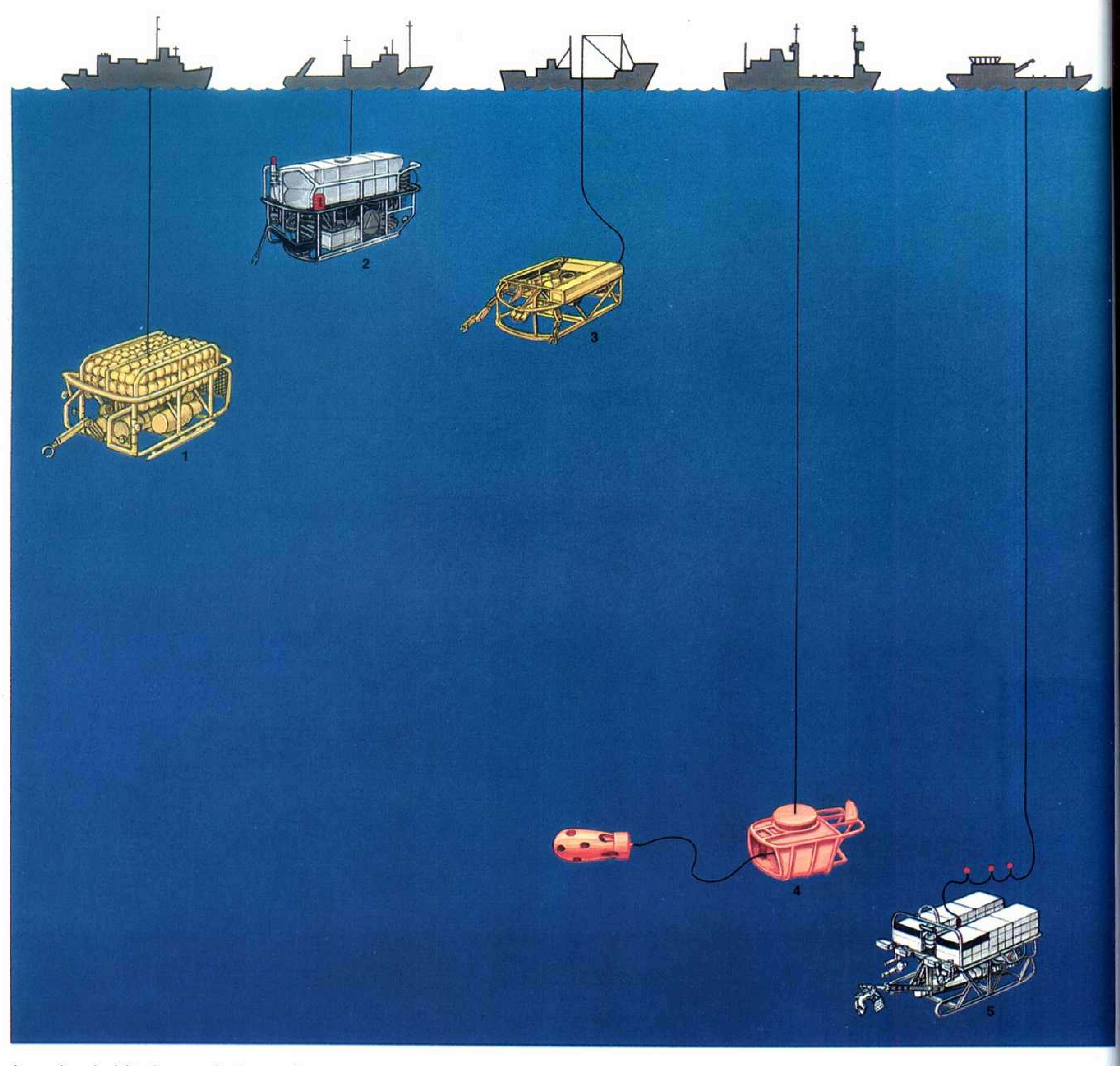
Fue a partir de los años cincuenta cuando se empezó a recurrir a los ingenios automáticos para explorar los fondos. Se envió a los abismos aparatos fotográficos y cinematográficos. Se inventó el sonar de barrido lateral, arrastrado por un barco, que permite levantar perfiles extraordinariamente precisos de los fondos que se «sobrevuelan». El famoso trineo *Troika,* del equipo Cousteau, no es sino un ejemplo más de estos sistemas.

Andando el tiempo, se han ido proyectando artefactos mucho más ambiciosos. Una de las principales cualidades de los robots submarinos, sobre todo en relación con los sumergibles habituales, consiste en que pueden permanecer casi indefinidamente bajo la superficie. Su coeficiente de utilización es excelente; capacidad de la que, por supuesto, se ha procurado sacar el máximo partido. Para ello se han aprovechado los progresos logrados por la ciencia en general en el campo del almacenamiento de energía: mientras un sumergible automático esté alimentado con electricidad, puede proseguir sus levantamientos fotográficos y/o televisados, sus recogidas de muestras de agua o de sedimentos, sus análisis automáticos.

Sin embargo, esta ventaja no resulta siempre tan evidente como pudiera parecer a primera vista. El amontonamiento de datos no basta: mucho más importante es interpretarlos. Y sólo el cerebro humano es capaz de ello..., por lo menos de momento. A pesar de todo, los artefactos subacuáticos deben ser «servidos» por los hombres. Y de nuevo se cae en el viejo problema de los créditos a la investigación, del número de puestos de técnicos y científicos dedicados a cada misión, etc.

Entre los numerosos robots submarinos hoy día en uso se pueden distinguir varias categorías: algunos son remolcados al cabo de un cable por un barco oceanográfico, mientras que otros evolucionan por sus propios medios en el agua; unos están pensados para desplazarse sobre el fondo del océano, mientras otros flotan entre dos aguas...


La discusión entre los partidarios de los



Robots para todos los gustos. *El dibujo de arriba presenta los principales tipos de artefactos de intervención submarina automáticos, unidos a un barco de acompañamiento por medio de un cable, y teledirigidos desde la superficie. El* Telenauta *(1) desciende hasta los 1.000 metros, posee un motor eléctrico cuya energía puede accionar tres propulsores. El* Tom 300 *(2) es una versión del* Telenauta *pensado para profundiades de menos de 300 metros: sus posibilidades de acción son excelentes. El* Consub II *(3) posee cuatro propulsores, efectúa levantamientos y recogidas de muestras hasta 650 metros, y está dotado de un brazo muy eficaz. El* Parc *y el* Eric *(4) operan en pareja: el primero lleva los aparatos de observación y el segundo los de trabajo; son útiles hasta 2.000 metros de profundidad. El* CURV III *(5) interviene a 2.300 metros.*

ingenios habitados y de los robots no tiene visos de acabarse. Todos tienen argumentos convincentes. Se puede hacer notar, simplemente, que es el mismo debate entablado en las filas de los conquistadores del espacio. Lo más probable es que, en el futuro, se sabrá fijar mejor que en la actualidad las tareas particulares de cada uno de los dos sistemas. Según el tipo de misión que se pretenda emprender, se elegirá un vehículo automático o habitado. Las misiones de rutina, repetitivas, agobiantes, peligrosas, correrán a cargo de los vehículos automatizados. Mientras que los submarinos habitados se encargarán de las exploraciones complejas, en cuyo transcurso sería absurdo hacer la vista gorda, prescindiendo de la experiencia, del juicio y de la facultad de decisión humana. De alguna forma, las misiones oceanográficas se dividirán en dos categorías: las «rutinarias», que serán automatizadas, y las «nobles», que pondrán a contribución la sin par máquina biológica del cerebro humano.

Los laboratorios submarinos



Reivindicación de los océanos



La exploración de la plataforma continental. *Los recursos minerales, energéticos y biológicos de la plataforma continental empiezan a interesar vivamente a los gobiernos y a las compañías industriales (arriba: algunos proyectos de explotación). Pero no se la podrá aprovechar adecuadamente sin disponer de auténticas bases, esto es, de casas-bajo-el-mar. En la página siguiente, algunas de las principales, con su profundidad de intervención.*

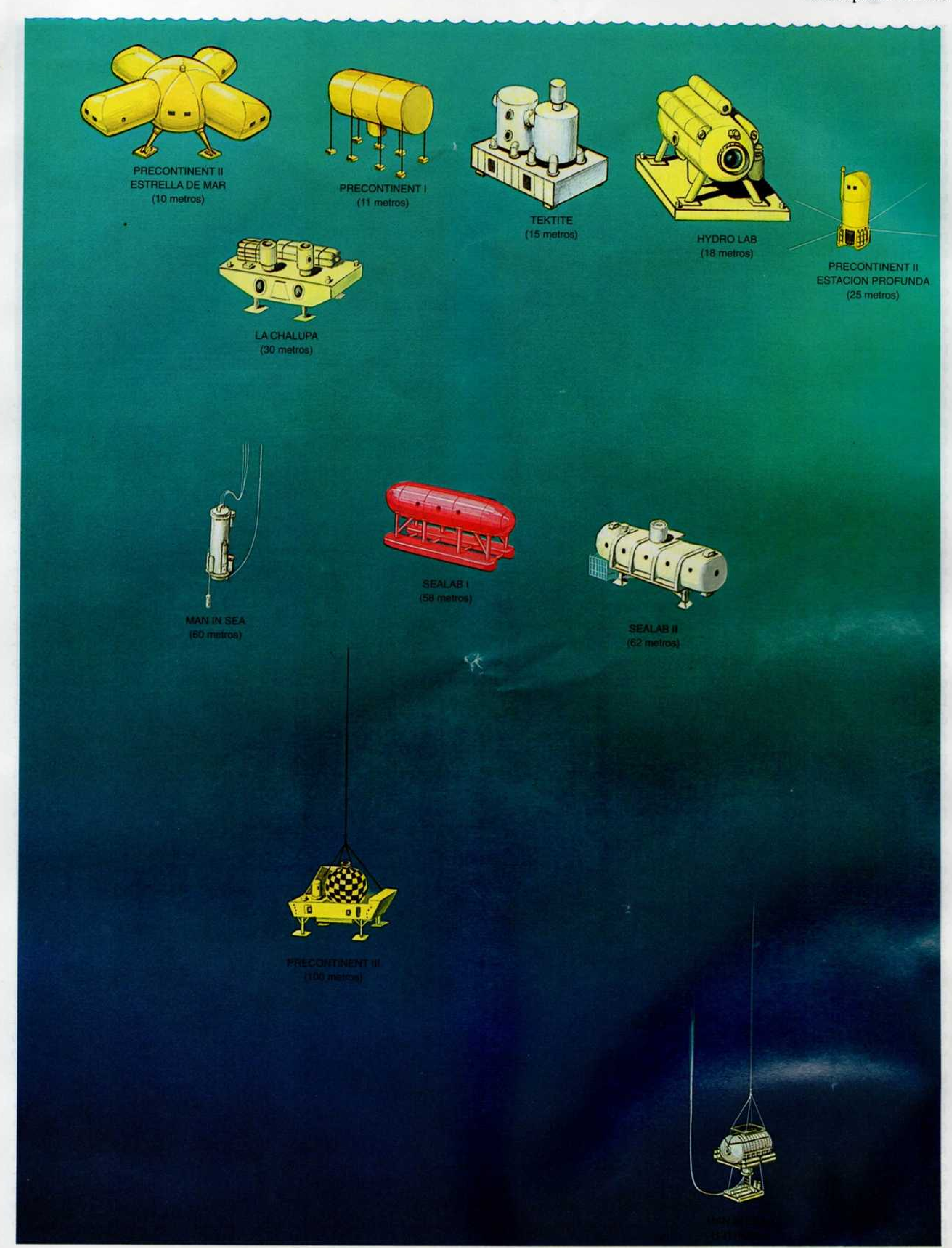
El fondo de los mares rebosa de minerales que un día podrían contribuir a apagar el hambre de materias primas de nuestro mundo. Estos yacimientos están distribuidos tanto en la plataforma continental cuanto en las grandes planicies abisales (especialmente en el caso de los nódulos polimetálicos). La recolección de los nódulos ha sido objeto ya de numerosos experimentos, propiciados por los países industrializados.

La revalorización de la plataforma continental puede ser considerada como uno de los grandes desafíos de los futuros decenios. Desde luego, la humanidad no va a encontrar en ella todo cuanto necesita para salir de la crisis; pero no por ello su contribución será menos importante. Para alcanzar cada día profundidades comprendidas entre los cero y los 200 metros disponemos ya de una amplia panoplia de instrumentos. Las escafandras se han perfeccionado. Hasta los 50 metros, lo más conveniente es el aire comprimido; por debajo de este límite, si la inmersión se prolonga, el buceador corre peligro de sufrir los efectos de la narcosis por nitrógeno. Por esta razón se han experimentado con éxito nuevas mezclas respiratorias, constituidas especialmente por helio y oxígeno (mezclas héliox). Para descender a mayor profundidad, se ha comprobado que es mejor reintroducir una pequeña porción de nitrógeno en la mezcla. Se puede entrar bajo el agua a la presión atmosférica normal, pero para ello se requiere utilizar un sumergible «seco». En profundidades inferiores a 350 metros, los platillos buceadores (cuyo modelo sigue siendo el *SP 350* del *Calypso*) parecen insustituibles por ahora: sus ligereza y maniobrabilidad son una maravilla. En lugar de los platillos pilotados se pueden enviar también bajo la superficie robots teledirigidos. Estos ingenios serán los que cada vez más se encargarán de las operaciones de rutina, como los levantamientos en registro continuo de los parámetros de una zona oceánica (temperatura, salinidad, etcétera) o la vigilancia de un pozo petrolífero.

Pero la verdadera conquista de la plataforma continental no podrá prescindir de enviar al fondo cuadrillas de trabajadores. Para lo cual no hay más solución que la inmersión en saturación. Los escafandristas descienden gradualmente: los gases respiratorios se disuelven en su sangre y se fijan, aunque parcialmente, en sus tejidos. Si permanecen por mucho tiempo en el agua, su capacidad corporal de fijación llega a un límite, que no se sobrepasará: se dice que están saturados. Si quisieran subir inmediatamente a la superficie, no podrían: tendrían que observar prolongadas etapas de descompresión, para que los gases disueltos salieran de sus tejidos y de su sangre (si no los observaran, experimentarían una embolia gaseosa fatal; su sangre se pondría a hacer literalmente burbujas, como una botella de champán recién abierta, y su cerebro sufriría daños irreparables).

Para evitar que los buceadores observen interminables etapas de descompresión, la solución está en que las realicen en el fondo durante varios días. Al estar en saturación, sólo tendrán que experimentar una descompresión; la cual podrá efectuarse en una cámara especialmente dispuesta, en seco y con toda seguridad.

Si se les proporciona a los buceadores en saturación instalaciones profundas en las que descansen entre los períodos de trabajo, donde puedan recobrarse, dormir y distraerse, nada impedirá que permanecezcan muchos días, e incluso semanas, en su lugar de trabajo subacuático. Entonces podrá pensarse en aprovechar adecuadamente el fondo del mar.



MAN IN SEA2
(131 metros)

Las primeras casas-bajo-el-mar

Desde 1962, una quincena de países han construido más de cincuenta tipos de casas-bajo-el-mar. Todas con el mismo propósito: servir realmente de alojamiento a los buceadores en saturación y permitirles permanecer en el fondo durante largos períodos.

Los dos grandes iniciadores de las casas-bajo-el-mar fueron Jacques-Yves Cousteau y los americanos George Bond y Edwin Link. El capitán George Bond, responsable de los programas de investigación de la Marina americana, creó primero una cámara hiperbárica en tierra, que le permitió llevar a cabo experimentos preliminares en ratas, cobayas y cabras. Fue él el primero en poner a punto las primeras mezclas respiratorias artificiales, especialmente de hidrógeno-oxígeno (hídrox) y helio-oxígeno (héliox). Luego llevó a cabo este mismo tipo de experimentos en hombres. Comprobó que las mezclas hídrox eran bastante peligrosas (por los riesgos de explosión). El héliox interesa perfectamente, aun cuando no deje de presentar también inconvenientes: por ejemplo, da lugar a una fuerte dispersión térmica (pues el helio es mucho mejor conductor del calor que el nitrógeno): deforma además la voz, produciendo un «efecto Pato Donald» característico que hace difícilmente comprensibles las expresiones de los buceadores por teléfono cuando respiran en una cámara o en una casa-bajo-el-mar llena de esta mezcla.

Por esa época, Link puso a punto una campana de buceo especial, que incorporaba una cámara de compresión-descompresión. Esta estructura podía llevar buceadores a 60 metros de profundidad, servirles de base de descanso entre las fases activas de su trabajo y regresarlos con toda seguridad al puente del barco de acompañamiento: encerrados en la cámara de descompresión, los hombres podían esperar en seco, y bajo la vigilancia directa de un médico, a que su sangre se vaciara de los gases disueltos en exceso.

El primer experimento en inmersión real se efectuó en 1962, cerca de Villefranche-sur-Mer. Robert Sténuit, experimentado buceador que había trabajado ya con Link, descendió a 60 metros en una cámara especial; respirando una mezcla de 97 por 100 de helio y 3 por 100 de oxígeno, permaneció bajo el agua veinticuatro horas y salió varias veces al agua libre.

Por ese mismo tiempo, el comandante Cousteau y su equipo pusieron a punto la primera auténtica casa-bajo-el-mar. El experimento *Précontinent I*, no lejos de Marsella, permitió que dos hombres vivieran durante una semana a 11 metros de profundidad; los buceadores, completamente a gusto, llevaron a cabo en el fondo todo tipo de trabajos de investigación y de observación; pero fueron también los primeros en distraerse en el fondo del mar jugando al ajedrez.

En 1964, gracias a la ayuda económica concedida por la Marina americana, Link estudió la viabilidad de un nuevo proyecto: una base subacuática fácil de transportar, hinchable, con forma de un gran globo alargado que podía albergar a dos hombres: la *SPID*. La cámara de descompresión, en este sistema, consistía en un simple ascensor. Robert Sténuit y John Lindberg (el hijo del famoso piloto) pasaron más de 49 horas a 130 metros de profundidad; cuando ascendieron, fueron transferidos directamente del ascensor bajo presión a una gran cámara de descompresión situada en el puente; en esta última, dotada de todo género de comodidades, pasaron las 92 horas de descompresión requeridas por su buceo en saturación. Link había demostrado que los hombres pueden vivir varios días y trabajar a más de 100 metros de profundidad.

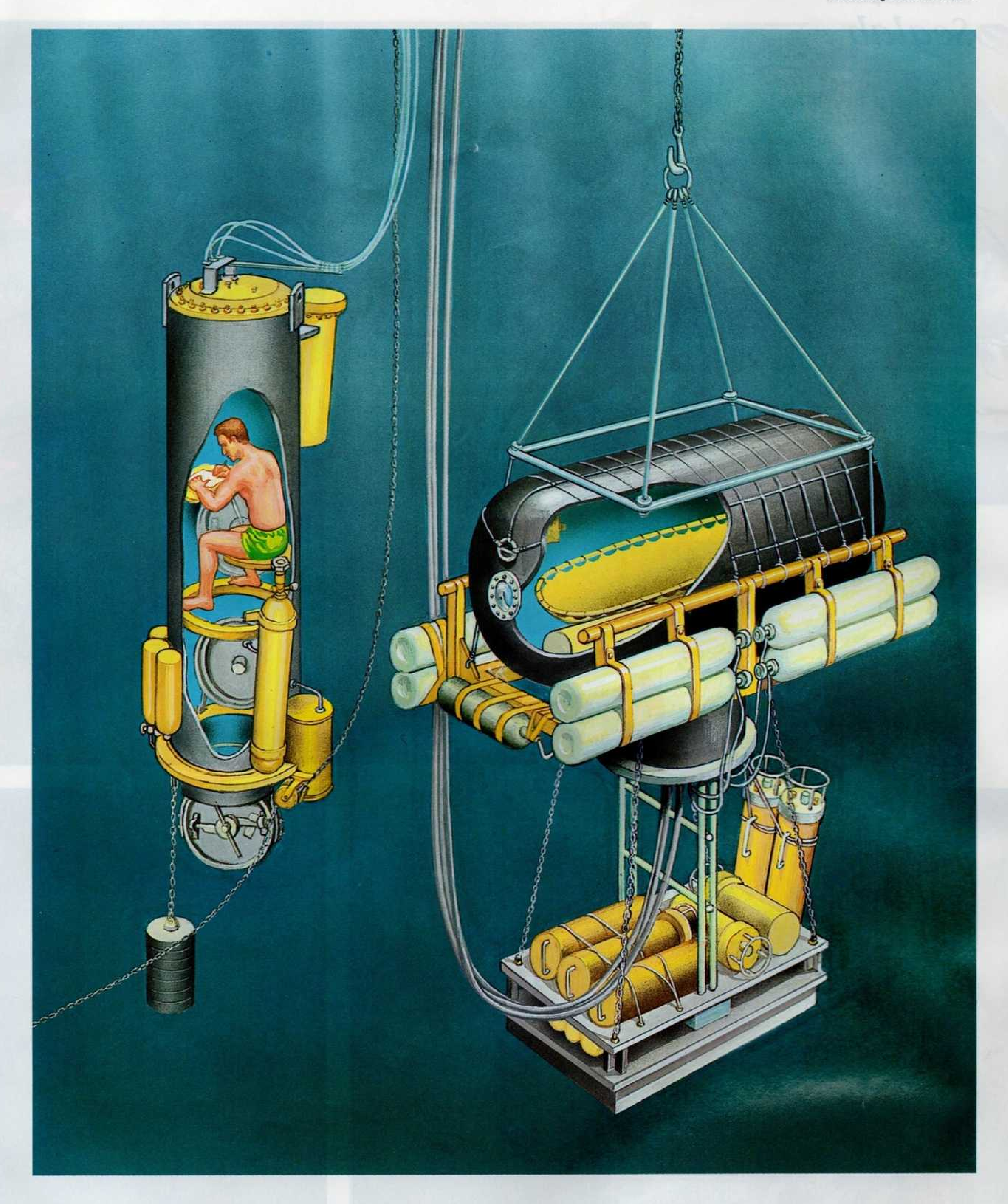
Entre tanto tenía lugar el experimento *Précontinent II* del comandante Cousteau. En junio de 1963, en Shab Rumi (cerca de Port-Sudán, en el mar Rojo), cinco hombres vivieron durante un mes en una amplia casa-bajo-el-mar en forma de estrella, sumergida 10 metros bajo la superficie; otros dos hombres, durante una semana, bajaron a habitar una estación profunda, a –25 metros, donde respiraban una mezcla héliox y donde eran reabastecidos cada vez que lo necesitaban por el platillo buceador. La vida, en este auténtico «poblado submarino», dependía del abastecimiento en aire y energía de los dos barcos de acompañamiento, el *Calypso* y el *Rosaldo*. Los buceadores permanecieron bajo la vigilancia de un circuito televisado: fue la parte obligatoria del experimento que menos les gustó: ser observados continuamente resulta intolerable. A pesar de las consignas de seguridad, hubo momentos en que taparon los objetivos de la cámara...

En todo caso, estos experimentos probaron que es perfectamente posible —y rentable— vivir bajo el mar, en saturación, y trabajar en él utilizando las cámaras de descompresión para regresar a la superficie. El organismo humano soporta perfectamente estos cambios —aunque sean notables— del entorno. Una de las cosas que menos tolera (aparte del hecho de ser observado continuamente) es la constante humedad del aire. Pero estos inconvenientes secundarios han encontrado ya, o encontrarán, una solución.

En contrapartida, es muy difícil predecir si los hombres podrán vivir durante meses, o incluso años, en auténticos poblados subacuáticos, que serían autosuficientes en energía y en alimentos. Varios proyectos de este tipo han sido concebidos por arquitectos visionarios a ambos lados del Atlántico. Pero, de momento, pertenece más al campo de la ciencia ficción que al de la ciencia oceanográfica.



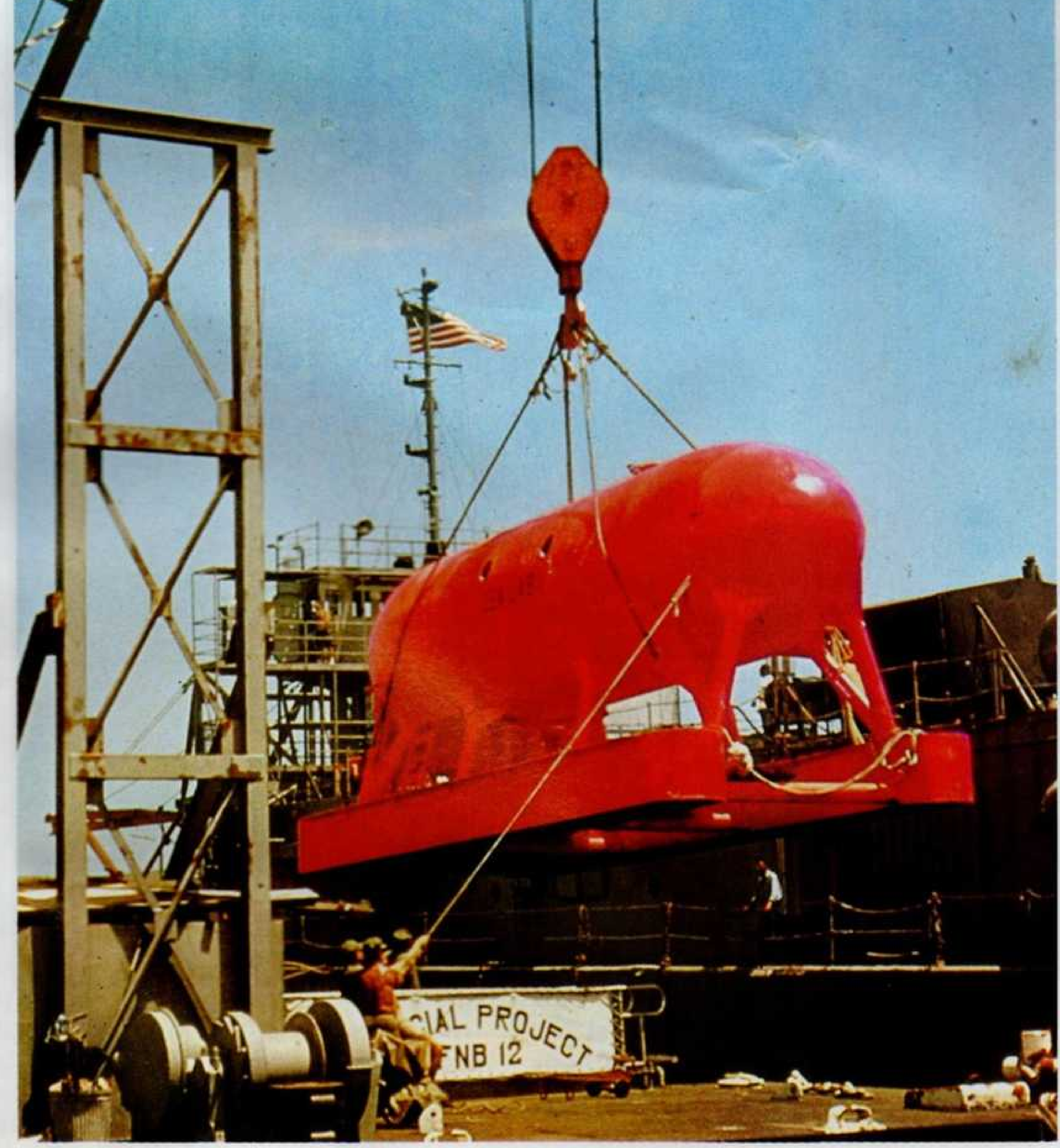
El experimento de Link. *Gracias a la experiencia adquirida en el curso de sus entrenamientos aéreos de piloto de pruebas, Edwin Link pudo concebir un proyecto coherente y audaz de casa-bajo-el-mar, llamado* Man-in-Sea. *En la fotografía de arriba: Link en persona inspecciona su módulo subacuático, que está constituido por un habitáculo presurizado, dotado de instrumentos de investigación, y que mide 2,50 metros de largo y 1,20 de diámetro (en la página siguiente, a la derecha). El buceador desciende hacia sus «cuarteles submarinos» a bordo de una cámara de compresión-descompresión (a la izquierda), que constituye un auténtico ascensor.*



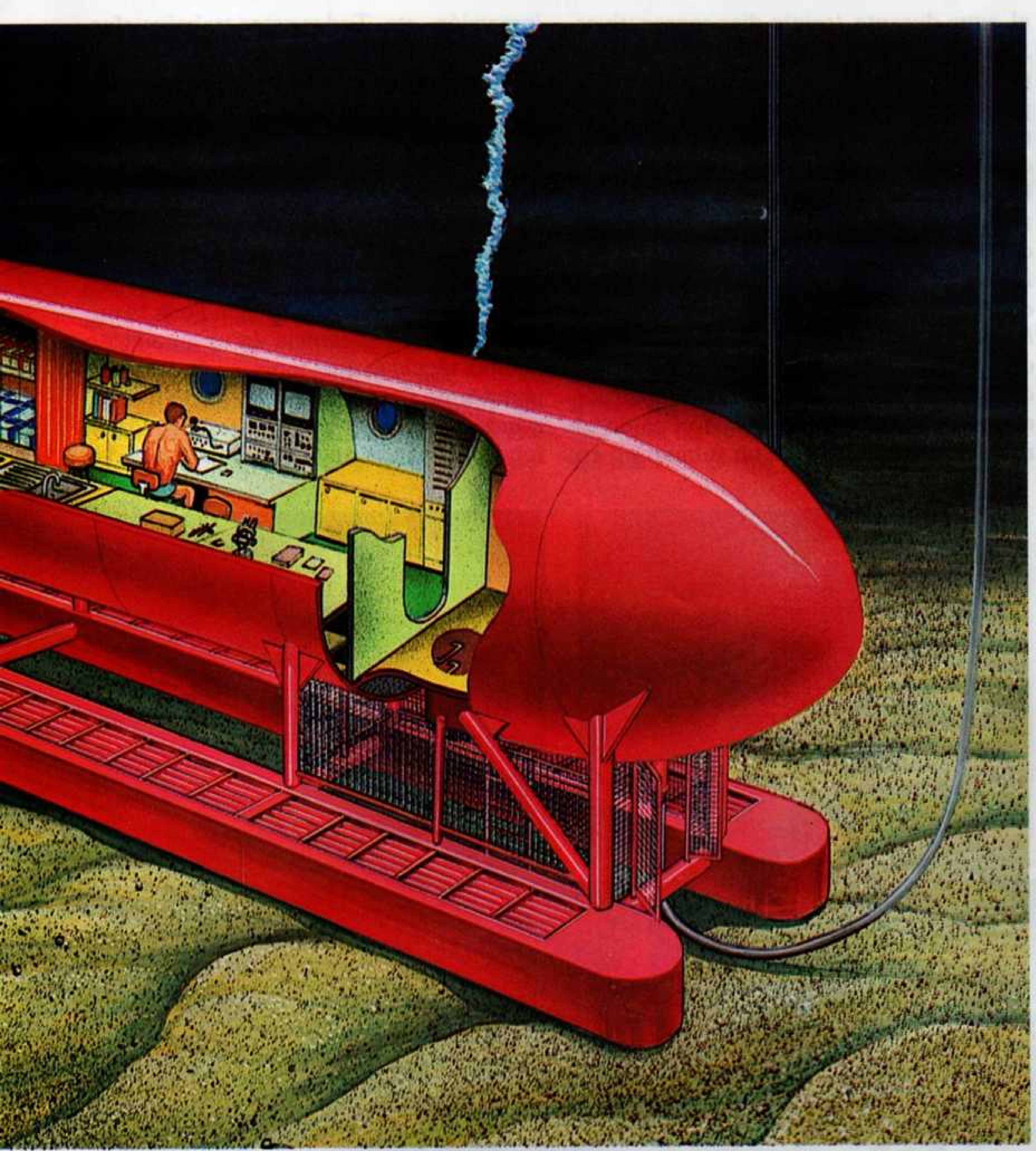
El experimento *Sealab*

EN julio de 1964, la Marina americana encargó a George Bond dirigir el proyecto de casa-bajo-el-mar *Sealab I*.
Los preparativos de este experimento se llevaron a cabo en los laboratorios de investigación de Nueva Inglaterra, en el estado de Connecticut. Estos trabajos preliminares, muy sistematizados, probaron definitivamente que las leyes de Haldane dejan de tener efecto cuando los buceadores llegan a la saturación, y que los hombres soportan perfectamente las altas presiones durante períodos prolongados, con tal que respiren mezclas correctamente dosificadas, esto es, en las que el oxígeno entra en proporción cada vez menor a medida que se desciende (manteniéndose su presión parcial dentro de los límites soportables por el organismo); el nitrógeno, por su parte, gas de acompañamiento demasiado pesado, debe ser sustituido por un gas ultraligero, el helio (inflamable), que cumple mejor la función requerida.
El experimento *Sealab* propiamente dicho consistió en que cuatro buceadores vivieron durante diez días a 58 metros de profundidad. Se llevó a cabo en el Atlántico, frente a las costas de las Bermudas. La casa-bajo-el-mar concebida por el comandante Bond constaba de un cilindro de 12 metros de longitud y tres de diámetro, que reposaba en el fondo sobre ocho pilotes. Una serie de cables y tubos unidos a un barco en superficie permitía proporcionar a la habitación submarina la mezcla respiratoria, agua dulce, electricidad, comunicación telefónica y la alimentación de circuito de televisión. Para sus incursiones fuera del habitáculo, los buceadores disponían de escafandras originales, en circuito semicerrado, que eliminaban el gas carbónico sin perder el helio de la mezcla.
Al undécimo día se tuvo que suspender el experimento debido al mal tiempo, pero podría haberse prolongado mucho más. La mezcla respiratoria que los hombres





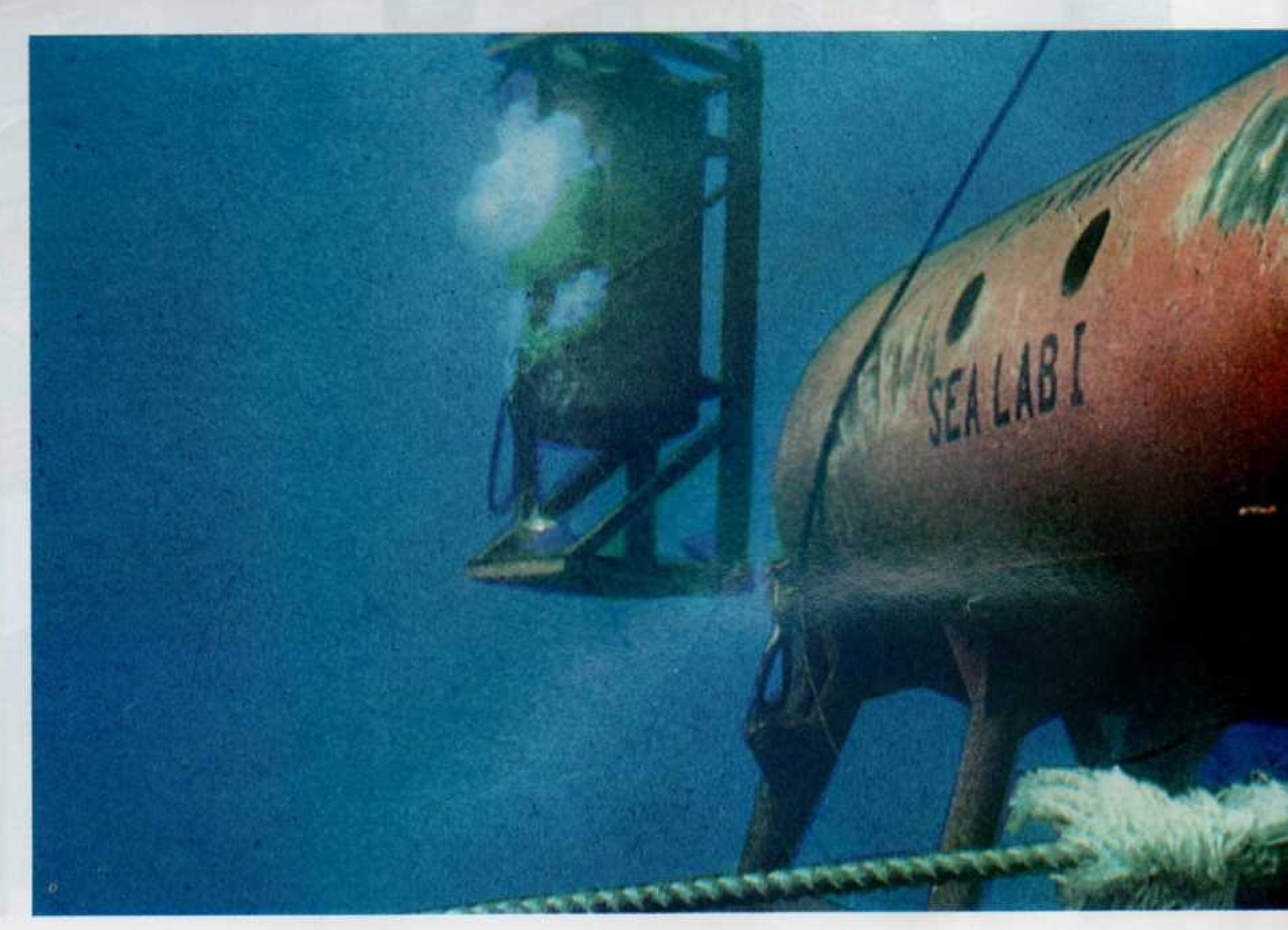






Las mezclas respiratorias. *El experimento de casa-bajo-el-mar* Sealab I *hizo posible, en especial, probar nuevas mezclas respiratorias para combatir los efectos de la narcosis por nitrógeno. Los oceanautas se sumergieron en una atmósfera de héliox (helio + oxígeno) a la que se añadió una pequeña proporción de nitrógeno. En las fotografías de abajo: a la izquierda,* Sealab I *en el astillero; en el centro y a la derecha: bajo el mar. Arriba: hombres trabajando a 58 metros de profundiad. Aquí, a la izquierda: esquema del experimento en el que aparecen dos hombres con el ascensor, el laboratorio-cámara y la esclusa.*

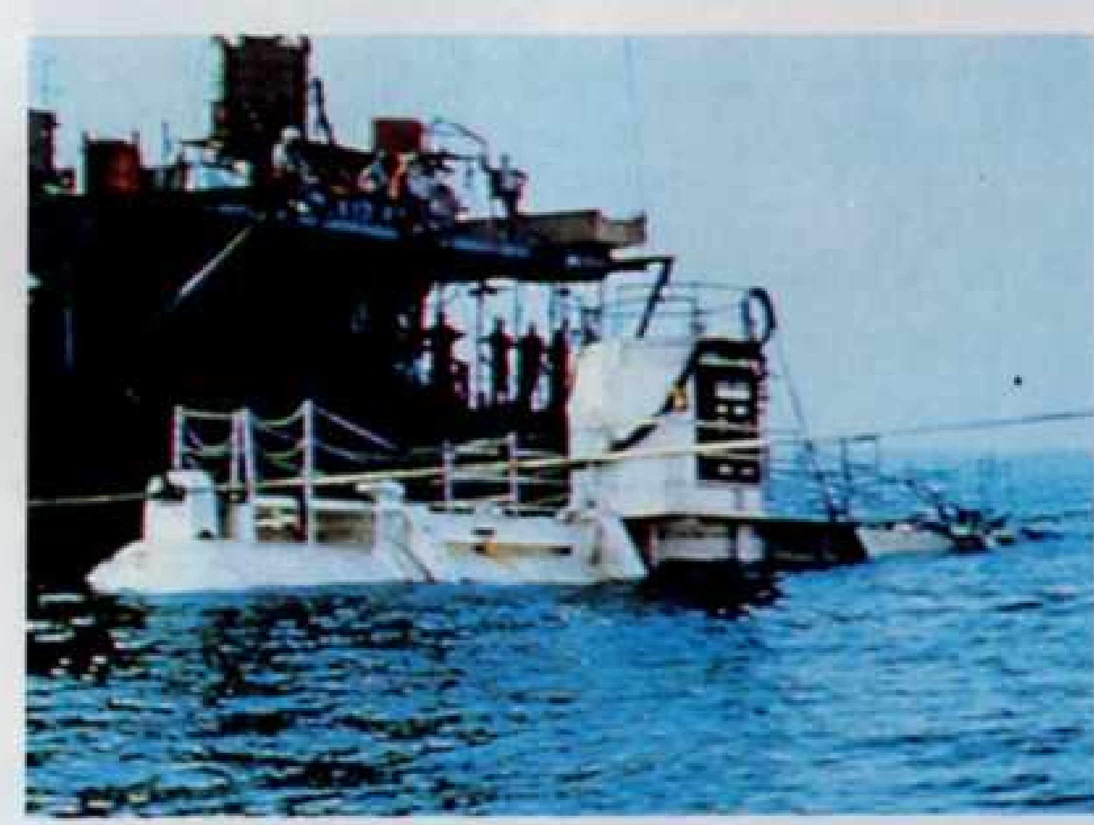




encontraban al regresar a la casa estaba compuesta por un 80 por 100 de helio, un 16 por 100 de nitrógeno y un 4 por 100 de oxígeno.

Como el experimento resultó satisfactorio, la Marina americana dio luz verde al *Sealab II*. Este gran proyecto, también bajo la dirección de George Bond, desembocó en un experimento en ambiente real, en agosto-septiembre de 1967. Tres equipos de 10 buceadores pasaron en total 45 días a 62 metros de profundidad, frente a las costas meridionales del estado norteamericano de California. El astronauta Scott Carpenter —convertido en esa ocasión en oceanauta— permaneció solo en el agua durante treinta días consecutivos. *Sealab II,* similar al anterior pero más espacioso, comprendía un complejo conjunto de aparatos de medida y de experimentación; los hombres contaban con cocina y comedor, y dormían en literas. La obligada vigilancia médica les resultaba muy desagradable (como, por lo demás, a los oceanautas del *Précontinent II):* las cámaras inquisidoras fastidian enormemente. Pero los hombres del *Sealab II* eran militares, y se sometieron a la disciplina, a pesar de tener que llevar a cabo tareas muy difíciles: entrenarse, por ejemplo, en recuperar un avión caído al mar, reparar el casco de un submarino en inmersión, etc. Todos estos trabajos efectuados fuera de la casa (a los que se añadían numerosas investigaciones geológicas, químicas y biológicas) se vieron grandemente facilitados por la colaboración de *Tuffy,* un delfín amaestrado. El animal prestó gran ayuda a los buceadores cada vez que había que encontrar el camino de regreso a la casa por la noche o llevar rápidamente un mensaje o un pequeño aparato a la superficie. Toda la misión recibió la asistencia de un numeroso equipo técnico, que tenía su base en la plataforma flotante *Berkone;* esta última, a una milla de la costa, estaba fijada al fondo por cinco anclas de seis toneladas







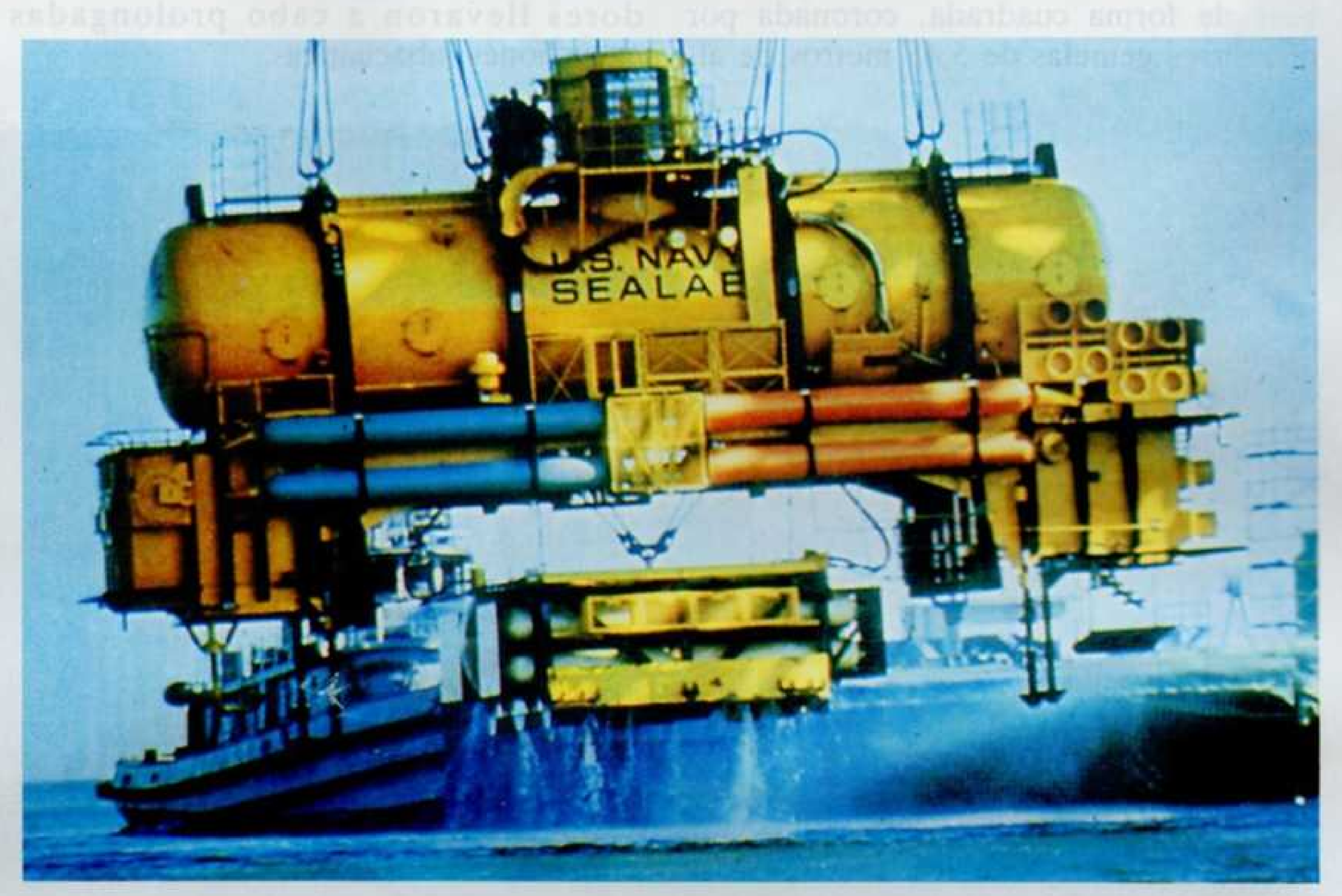
cada una, con cables y cadenas a toda prueba. Cables de electricidad aportaban la energía necesaria para el experimento desde la costa. En efecto, el lugar elegido se encontraba situado frente al Instituto Oceanográfico Scripps.

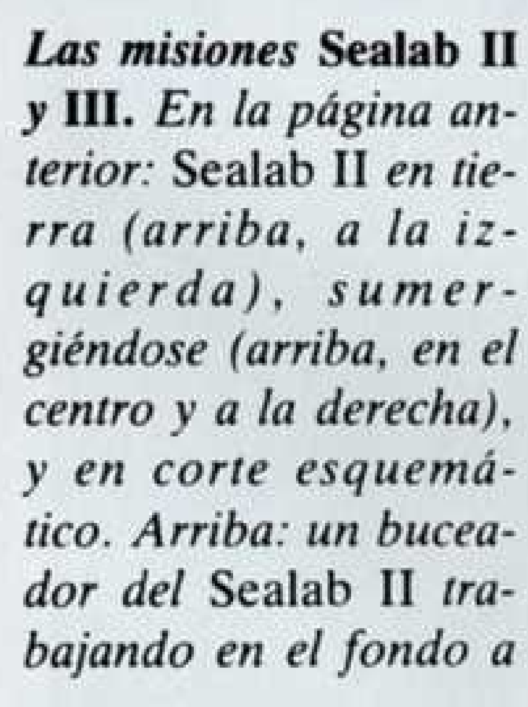
Al finalizar el experimento, los oceanautas fueron transportados, en una campana de buceo especial, a la plataforma *Berkone,* donde se encontraba una amplia cámara hiperbárica en la que se efectuó su indispensable descompresión.

La tercera experiencia de este tipo —*Sealab III*— debía haber tenido lugar en 1968. Cinco equipos de doce buceadores deberían trabajar en él a 180 metros de profundidad. En realidad, la operación comenzó en febrero de 1969. Durante los trabajos preliminares, un accidente provocó la muerte de un oceanauta. La Marina americana prefirió anular el programa y continuar las investigaciones en tierra, en cámaras hiperbáricas.

Mientras se desarrollaba *Sealab II,* el comandante Cousteau lanzaba la operación *Précontinent III* frente al cabo Ferrat, a 100 metros de profundidad. La casa-bajo-el-mar consistía esta vez en una esfera de dos pisos, de 140 toneladas de peso, abastecida desde la costa con energía y cables para las comunicaciones. En cambio, sus reservas de gas respiratorio y de energía eléctrica le permitieron, durante períodos cortos y a título de experimento, ser totalmente autónoma. Los buceadores, respirando una mezcla héliox, iban a trabajar a una cabeza de pozo del tipo «árbol de Navidad». Se impusieron perfectamente en su penosa tarea, y demostraron que el trabajo subacuático en saturación es eficaz. Salían por períodos de siete horas consecutivas de trabajo, interrumpidas por breves regresos a la casa submarina. Los hombres perdían demasiadas calorías; y tenían que regresar a calentarse al interior, siempre bajo la obsesiva vigilancia de las cámaras de televisión.







***Las misiones* Sealab II *y* III.** *En la página anterior:* Sealab II *en tierra (arriba, a la izquierda), sumergiéndose (arriba, en el centro y a la derecha), y en corte esquemático. Arriba: un buceador del* Sealab II *trabajando en el fondo a 62 metros de profundidad. Abajo: el delfín* Tuffy, *un excelente mensajero. Aquí, a la derecha: dos fases de la inmersión del* Sealab III. *Durante los trabajos preliminares murió un oceanauta y el experimento se suspendió.*





El programa *Tektite*

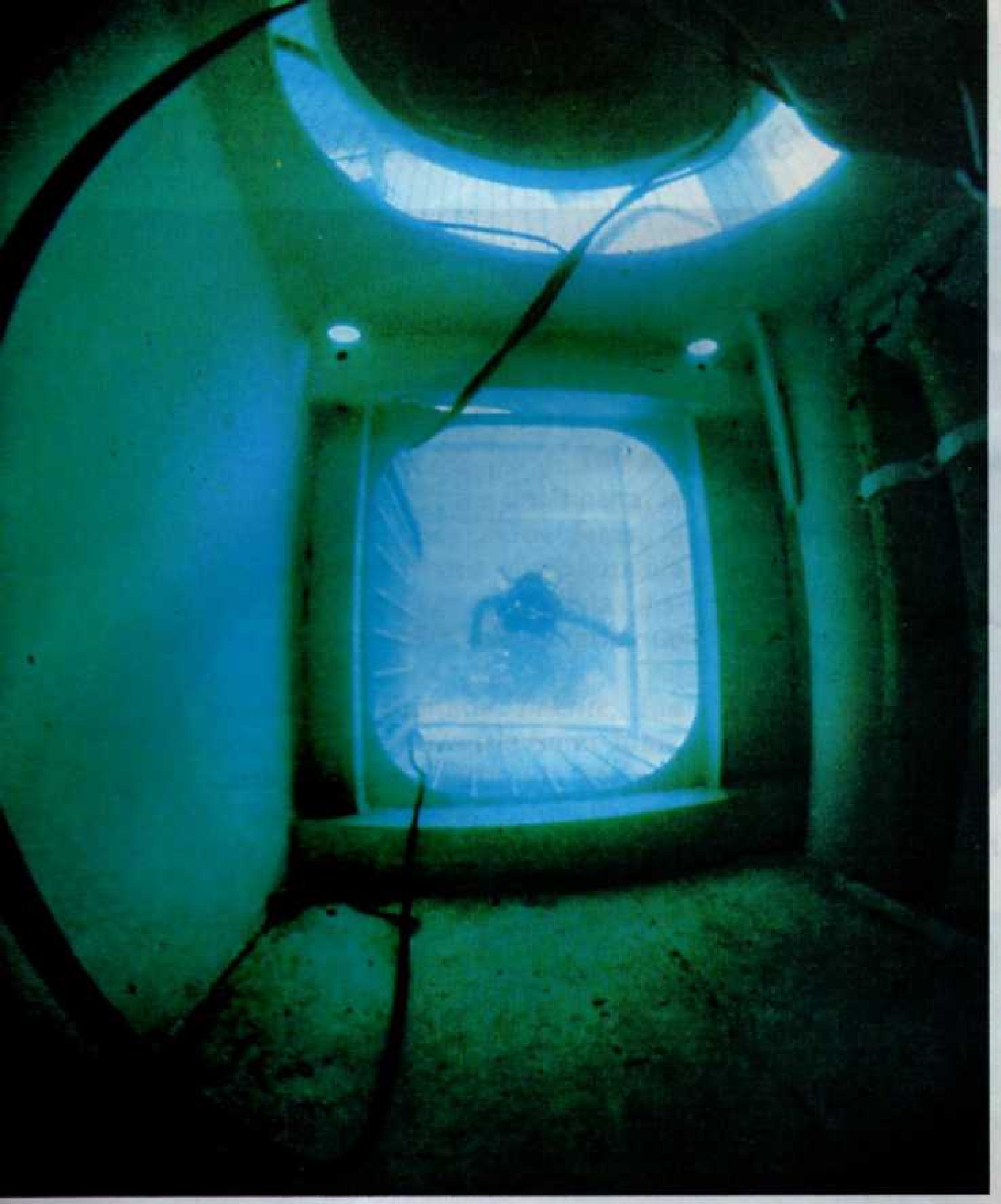
MIENTRAS en el Pacífico se desarrollaba el drama de *Sealab III,* otro proyecto de casa-bajo-el-mar se ponía en marcha en el Atlántico. Tenía por objetivo hacer vivir a varios grupos de buceadores e investigadores a 15 metros bajo la superficie.
Este nuevo programa estaba financiado en comandita por la Marina americana, la NASA, el Servicio de Guardacostas, la Universidad de Pensilvania y la compañía General Electric, constructora de las instalaciones en el fondo y de dotarlas de equipo.
Esta habitación, llamada *Tektite,* fue sumergida en aguas de la isla Saint-John, en el Caribe. Estaba constituida por una base de forma cuadrada, coronada por dos torres gemelas de 5,45 metros de altura y 4,75 metros de diámetro. Cada uno de los cilindros estaba dividido en dos pisos. Los acuanautas hacían la vida en el piso bajo de una de las torres; sobre ellos se hallaba el laboratorio. En el otro habitáculo se encontraban, abajo, los motores y los generadores, y, arriba, otros aparatos de medida y de trabajo subacuático. Al ser escasa la profundidad, los buceadores vivían en una atmósfera normal (nitrógeno y oxígeno), contrariamente a los de *Sealab,* que respiraban héliox.
La primera parte de la misión *Tektite* fue confiada a cuatro hombres, dirigidos por Richard Waller. Las operaciones se iniciaron el 15 de febrero de 1969 y duraron sesenta días, durante los cuales los buceadores llevaron a cabo prolongadas excursiones subacuáticas.
Las tareas asignadas a *Tektite* eran numerosas. Las investigaciones ecológicas debían versar sobre toda una serie de organismos marinos, especialmente sobre las langostas y otros crustáceos. Los oceanautas debían analizar asimismo cada día la composición del plancton. Tenían que dedicarse también a investigaciones sobre temas tales como la geología, los sedimentos de los fondos, la cartografía submarina, los arrecifes coralinos, etc.
En la superficie, un equipo de médicos mantenía continuo contacto con los miembros de la tripulación. Estos últimos pasaban regularmente «visita» por medio de aparatos (tensiómetros, analizadores de sangre, etc.), y respondían a las preguntas de los especialistas por medio del circuito de televisión. Uno de los princi-



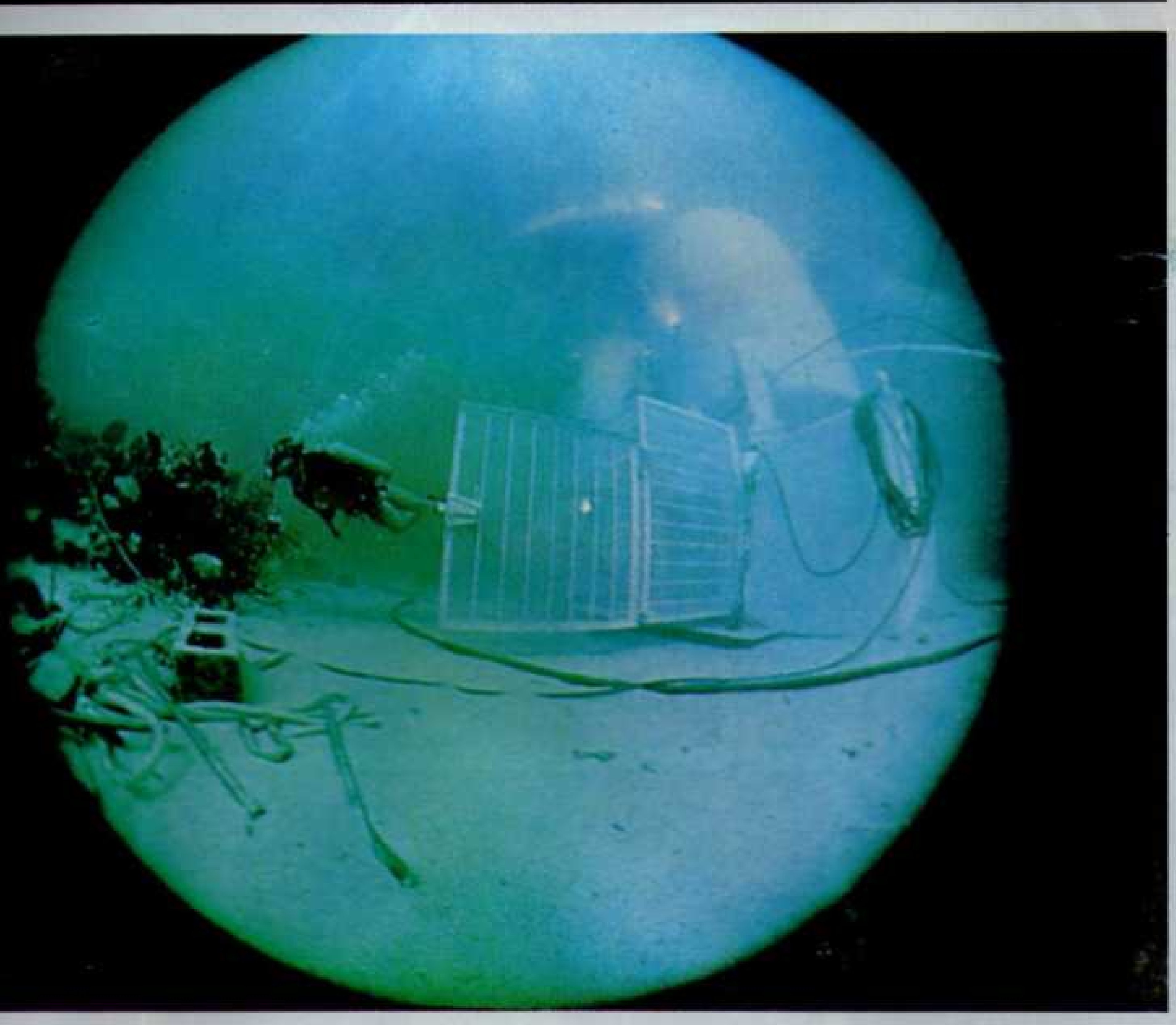
Dos cilindros habitables. Tektite *es una casa-bajo-el-mar formada por dos torres comunicadas (en esta página: cuatro fases de la inmersión). El esquema de la página anterior muestra su estructura: la torre de la izquierda contiene la estancia en el piso bajo, y, en el alto, los laboratorios; la de la derecha, abajo, la esclusa de salida, y, arriba, otros aparatos de medida.*

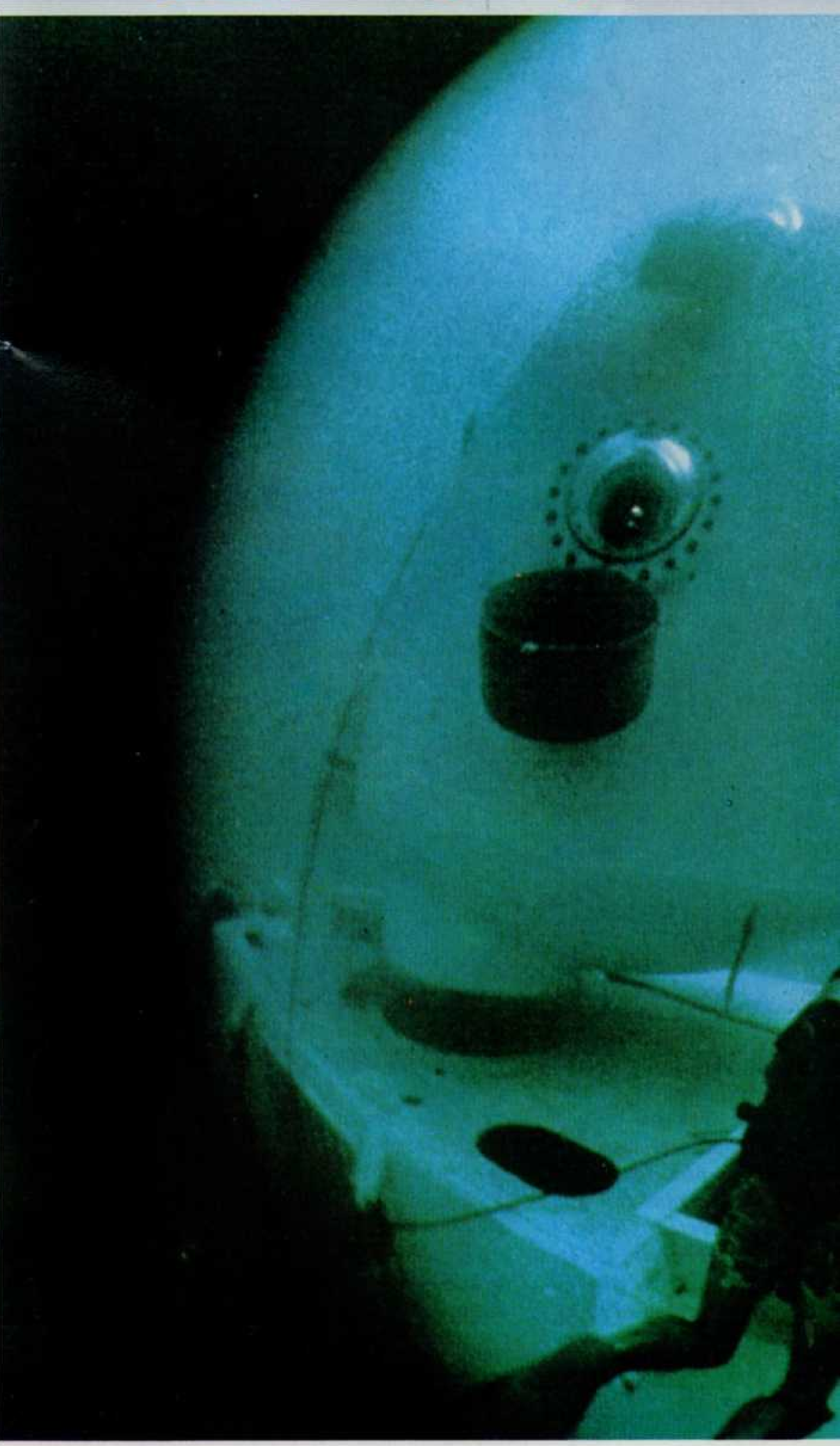




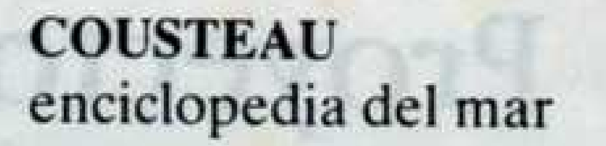


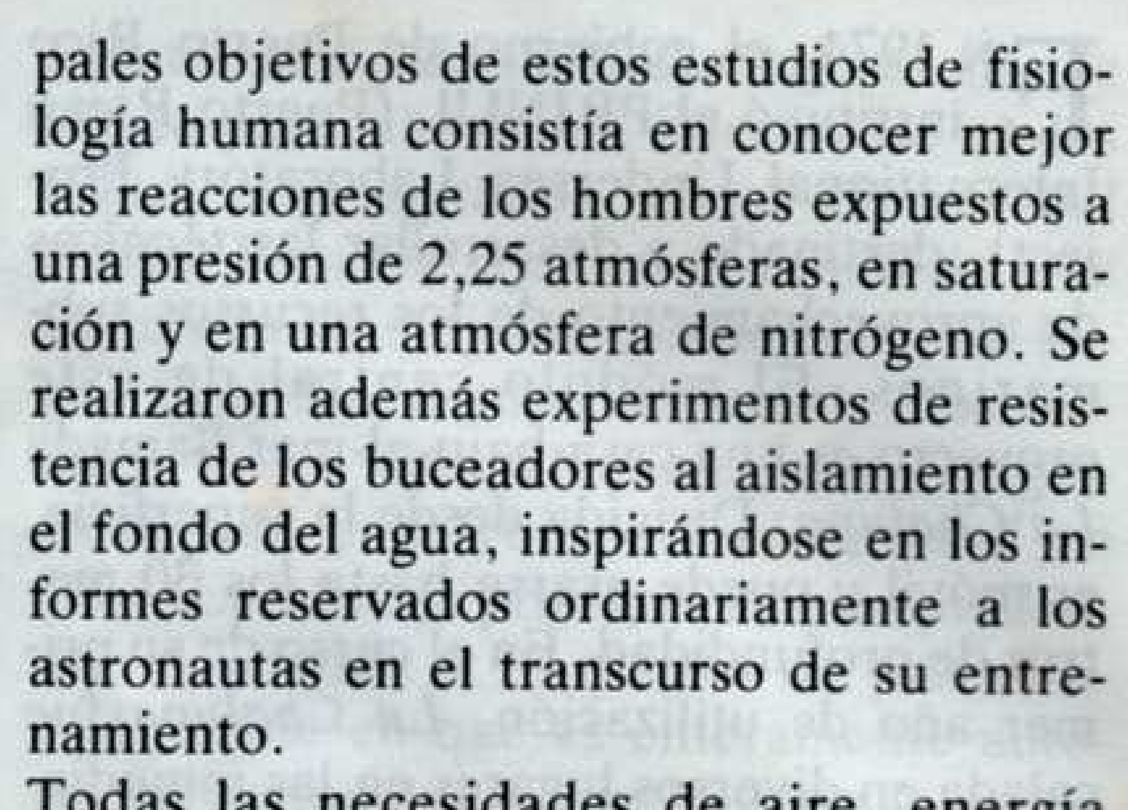






Fotografías subacuáticas. *Las fotografías de esta doble página son del experimento* Tektite. *La grande del centro muestra el conjunto de la casa-bajo-el-mar (deformada por el objetivo «ojo de pez»). Arriba: dos fotografías de la esclusa de salida de los buceadores, protegida por la jaula antitiburones (abajo: vista desde fuera; arriba: vista desde el interior). Arriba, en el centro, y a la extrema derecha: una portilla vista desde el interior y desde el exterior. Arriba, a la derecha: dos hombres trabajando en el fondo, y estudiando un espécimen de la fauna local. En el campo de las ciencias naturales, los objetivos de la operación* Tektite *eran ambiciosos, y casi todos se alcanzaron. Se trataba de estudios muy variados, aunque destacaban los dedicados específicamente a geología, hidrología, ecología, botánica y zoología.*

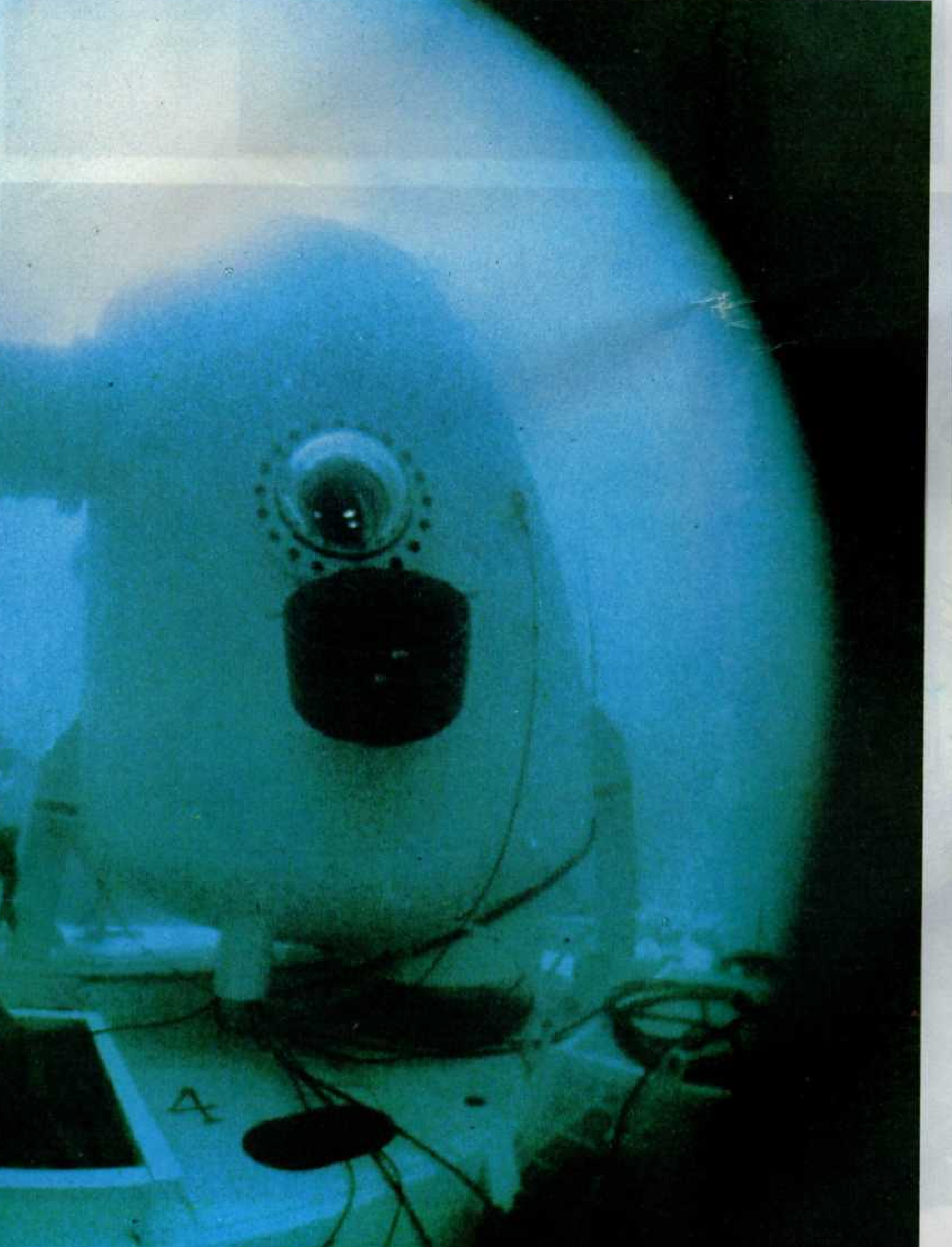




pales objetivos de estos estudios de fisiología humana consistía en conocer mejor las reacciones de los hombres expuestos a una presión de 2,25 atmósferas, en saturación y en una atmósfera de nitrógeno. Se realizaron además experimentos de resistencia de los buceadores al aislamiento en el fondo del agua, inspirándose en los informes reservados ordinariamente a los astronautas en el transcurso de su entrenamiento.

Todas las necesidades de aire, energía eléctrica, agua dulce, etc., del *Tektite* eran satisfechas desde una base de acompañamiento en la superficie, y por medio de una serie de tubos y de cables, auténticos «cordones umbilicales» de la casa-bajo-el-mar.

En el curso de sus incursiones fuera del habitáculo, los buceadores utilizaron una escafandra en circuito cerrado controlado electrónicamente, puesto a punto para la ocasión.





Este aparato, por completo silencioso y que no producía burbujas, permitió hacer numerosas observaciones inéditas sobre el comportamiento de los animales marinos (nutrición, defensa del territorio, reproducción, etc.).

La segunda fase del experimento, llamada *Tektite II,* se desarrolló en 1970. En ella participaron cinco grupos de investigadores, que se relevaban en los laboratorios sumergidos. Uno de estos equipos estaba compuesto exclusivamente por mujeres. El equipo formado por ellas permaneció bajo el agua durante dos semanas.

Estas últimas (como era de esperar, dada su fisiología) se comportaron bastante mejor que los hombres en todos los aspectos del experimento (resistencia al frío, etc.). Se declararon encantadas de su estancia en el fondo, excepto en una cosa, según declararon: la exigüidad de los laboratorios.

Proyectos para el futuro

EN 1974, el gobierno de Puerto Rico instituyó el PRINUL (Puerto Rican International Undersea Laboratory Project), destinado a desarrollar las técnicas de aprovechamiento de los recursos submarinos. El módulo central de este proyecto es una casa-bajo-el-mar llamada *La Chalupa*. Dirigida desde la superficie, es móvil y puede usarse hasta los 30 metros de profundidad. En el curso de su primer año de utilización, *La Chalupa* fue calada en diversos lugares en las inmediaciones de la isla de Come. Al igual que *Tektite*, este habitáculo sumergido puede dar acogida a cinco buceadores o investigadores. Es mucho más solida, más duradera y está mejor equipada que las otras casas-bajo-el-mar destinadas a escasas profundidades. Pero su costo es elevado. Otros organismos de investigación no requieren de material tan sofisticado. Así, la Universidad de New Hampshire ha proyectado el *Edalhab*, y la Universidad de Rhode Island desarrolló por su parte el *Portalab*. Son pequeñas unidades sumergibles que se recobran después de cada misión. Descienden a unos 12 metros, y permiten realizar un buen trabajo, con un costo de fabricación moderado.

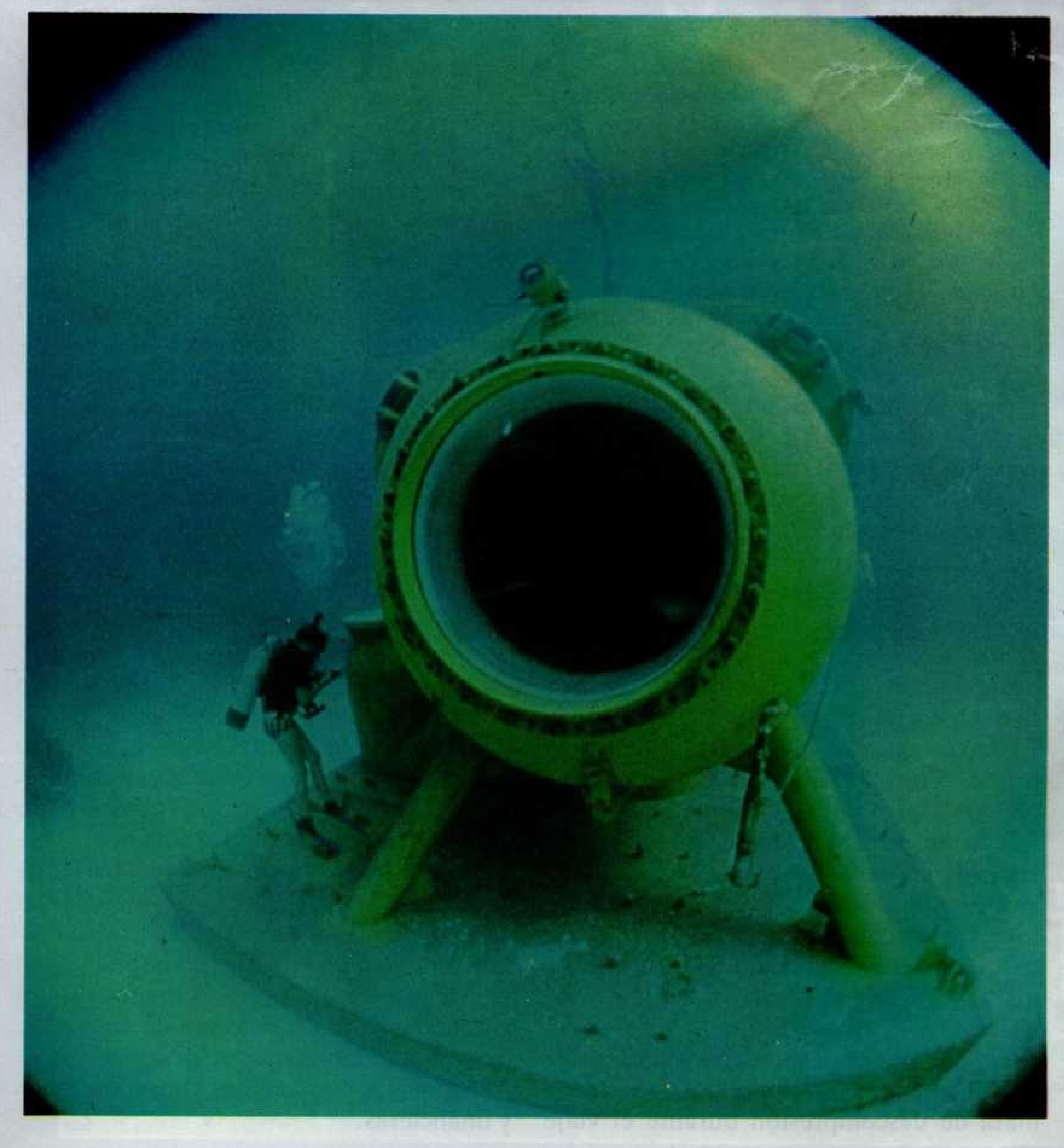


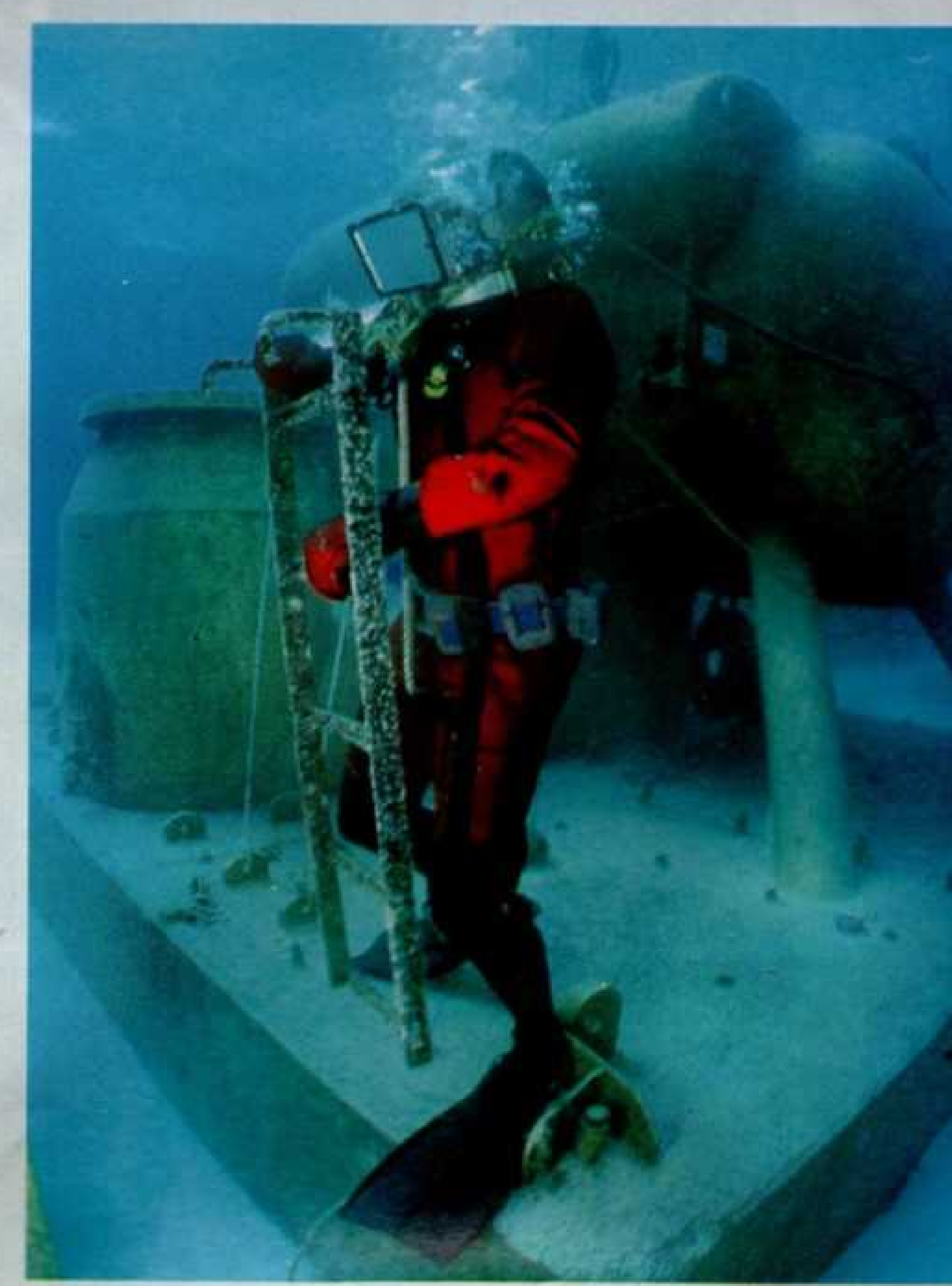


La Chalupa. *Proporciona un hábitat prolongado en aguas poco profundas. Aquí al lado, arriba: el artefacto en superficie. Debajo: un buceador trabajando. En la ilustración de abajo: esquema general del habitáculo en el fondo. Cuatro pies regulables permiten asegurar su estabilidad. Puede acoger a cinco buceadores durante más de dos semanas. Se compone de dos partes principales: una destinada a la vida diaria de los hombres (dormitorio, lavabos, etc.), y la otra encierra los aparatos de investigación y de medida. Esta última puede transformarse en cámara de descompresión de urgencia.*



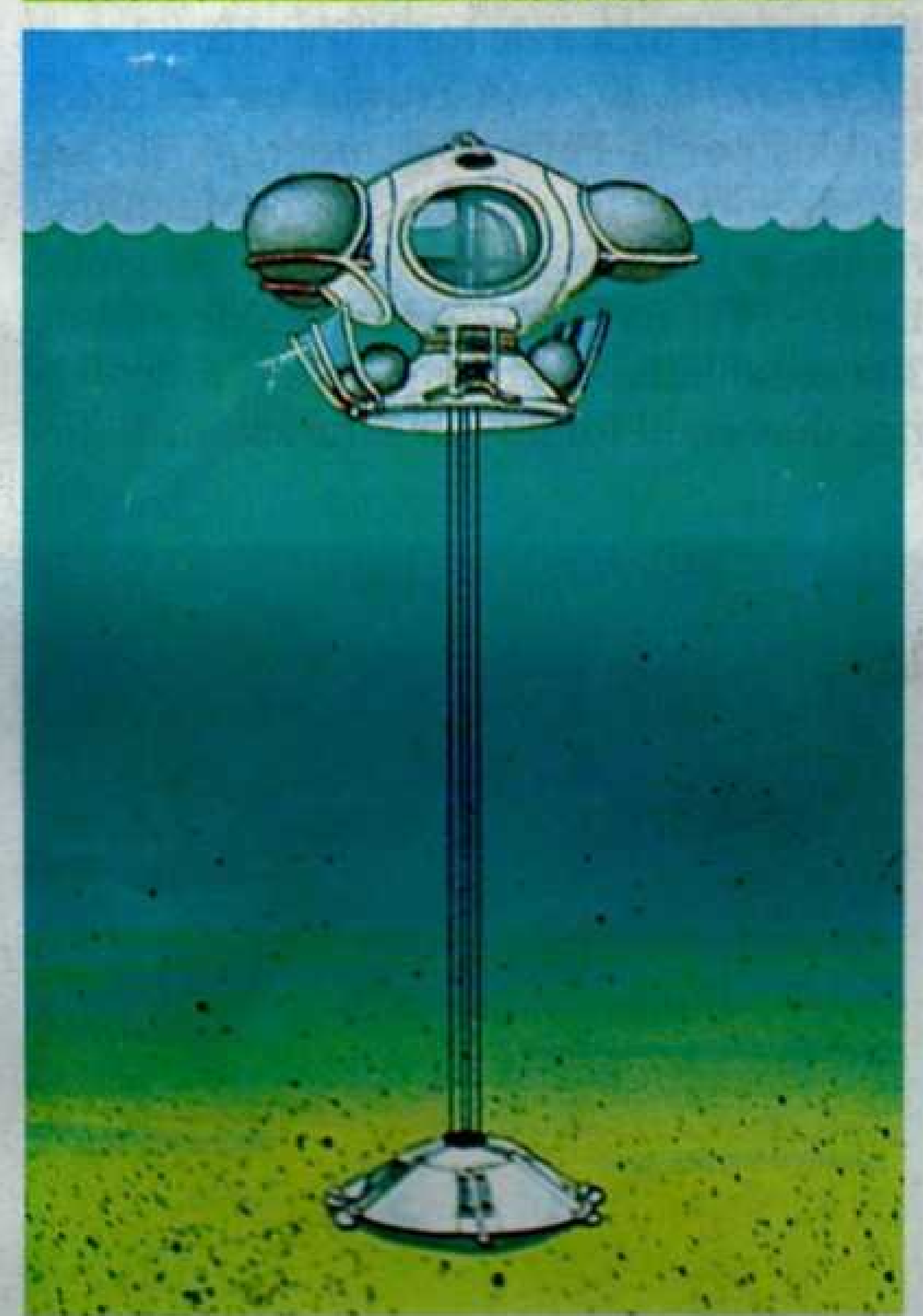
La utilización de las casas-bajo-el-mar se revela particularmente interesante en los mares muy agitados, como el mar del Norte. Para trabajar en el fondo de este último en las mejores condiciones, sin importar el mal tiempo imperante, los técnicos de la compañía alemana Drägerwerk han construido el *Helgoland* en 1969. La ventaja principal de esta unidad, que desciende a 18 metros de profundidad, reside en que es enteramente autónoma, aunque una gran boya en la superficie la abastece de electricidad, oxígeno y le proporciona las comunicaciones radiotelefónicas. El sistema boya-casa submarina permite períodos de autonomía total, con relación a tierra, de 15 días. Los técnicos de la *Drägerwerk,* después de lograr que unos buceadores vivieran a 18 metros de profundidad durante 22 días, se dedican a hacer operativo su sistema a profundidades del orden de los 100 metros.
El *Hydro-Lab,* construido en Estados Unidos por la Perry Oceanographics, fue sumergido a 18 metros de profundidad frente a las costas de la Gran Bahama. Desde 1971 ha recibido la visita de más de 300 acuanautas, permaneciendo todos varios días en el fondo, en saturación. El ar-





El **Hidro-Lab.** *Esta casa-bajo-el-mar es de empleo muy cómodo. Ya ha permitido realizar varias misiones en las Bahamas. Arriba, a la izquierda: una fase de la inmersión. Aquí, a la izquierda: el conjunto de la estructura en el fondo, con la esclusa de entrada abierta, dispuesta a acoger al buceador. Arriba: un hombre trabajando a 18 metros de profundidad.*








La Galathée. *Esta casa-bajo-el-mar, particularmente bien proyectada y maniobrable, acoge a cinco hombres y les permite trabajar a 60 metros de profundidad. Los tres dibujos de la izquierda muestran cómo se coloca en su sitio: al principio flota gracias a unas estructuras hinchables; luego desciende un lastre, que la sujeta al fondo; finalmente desinfla sus flotadores y se coloca en el lugar escogido. Para ascender, le basta con hinchar sus estructuras flotantes.*

tefacto puede dar cabida a cuatro hombres de una vez. Está unido a una boya en superficie no habitada, pero extraordinariamente perfeccionada; al final de cada programa del experimento puede descender sobre el *Hydro-Lab;* los buceadores penetran en ella, y sirve de cámara de descompresión al ascender. Desde 1975, el *Hydro-Lab* es la pieza fundamental del programa SCORE (Scientific Cooperative Operational Research Expedition). El objetivo de este proyecto, cofinanciado por el gobierno de las Bahamas, la NOAA, la Scripps, la Woods Hole, la Fundación Link y la Fundación Harbord Branch, consiste en estudiar los acantilados sumergidos que se levantan a un kilómetro aproximadamente de la casa-bajo-el-mar. El vehículo que transporta a los buceadores al lugar de sus observaciones es el sumergible *Johnson-Sea-Link,* que puede descender a 75 metros de profundidad en 45 minutos, y sirve de cámara de descompresión durante el viaje de regreso del *Hydro-Lab*. Esta especie de «taxi submarino» puede utilizarse, cuando el caso lo requiere, como ambulancia hacia la superficie.

Los programas *Man-in-Sea, Sealab* y *Précontinent* han demostrado por primera vez que el hombre puede vivir durante largos períodos en el fondo del mar y emprender el reconocimiento y explotación racional de la plataforma continental. Los programas sucesivos —*Tektite, La Chalupa, Hydro-Lab*— han acabado de demostrar que la investigación científica y técnica, en el campo de la oceanografía, no puede prescindir de las casas submarinas. El porvenir de estas últimas es prometedor. Los especialistas dan vueltas a nuevos proyectos, sumamente seductores. El único problema reside en su financiación. Todas estas técnicas son muy costosas. Aunque hacen posible un conocimiento más profundo del ambiente marino y una explotación de sus recursos que no lo daña, los gobiernos y las firmas interesadas —por razones de provecho a corto plazo— prefieren, desgraciadamente, soluciones menos costosas a veces, pero más peligrosas para el entorno. Al final, las casas-bajo-el-mar acabarán por imponerse, y no andará descaminado quien piense que en un futuro el hombre vivirá auténticamente en el fondo de las aguas. Pero, por el momento, su desarrollo se ve frenado por limitaciones presupuestarias y financieras.


STAGE
I
Los centinelas
del mar

Recogiendo datos

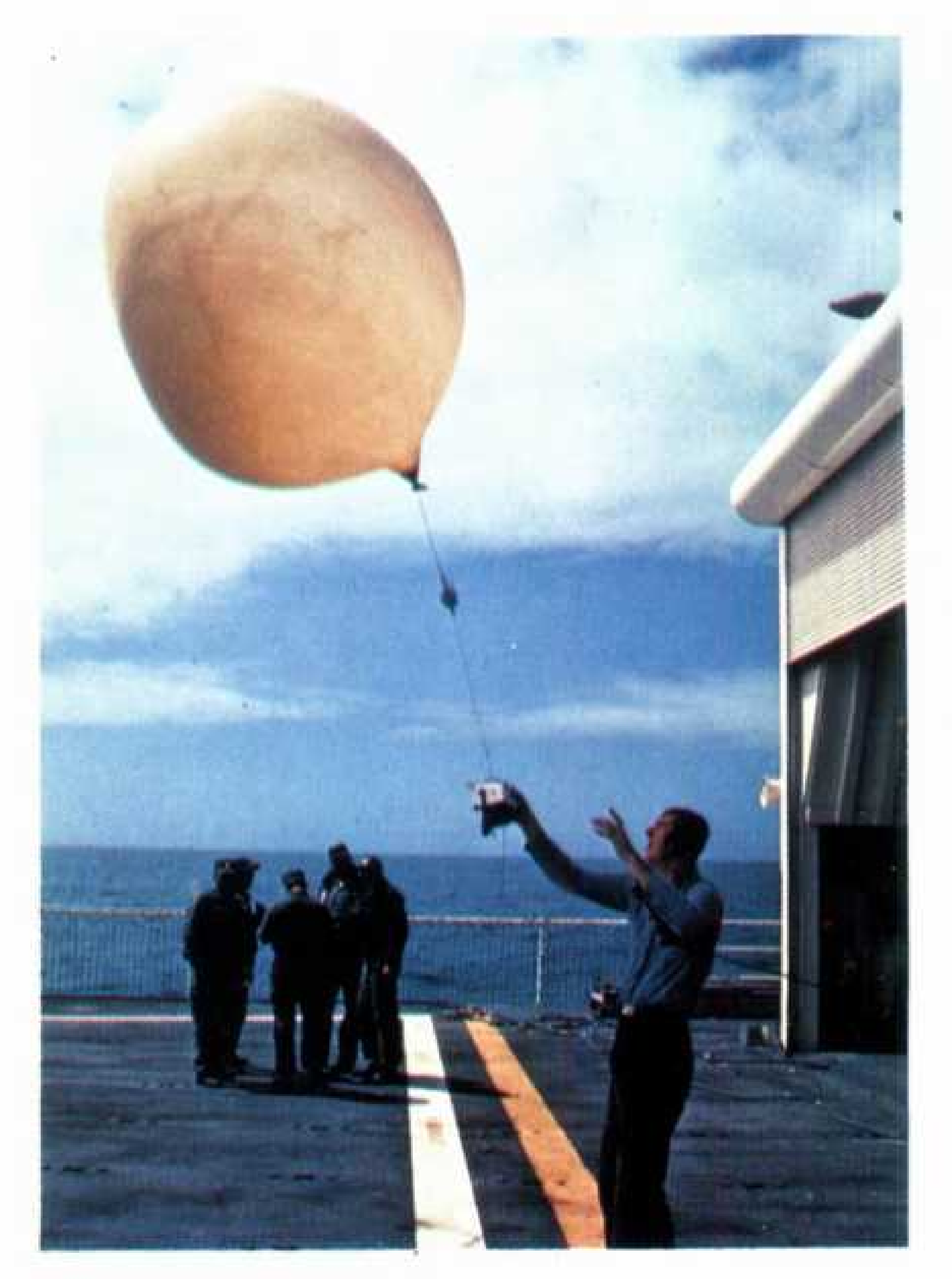
Cuando lo contemplamos desde el puente de un barco o desde lo alto de un acantilado, el mar parece una entidad bidimensional. El plano de separación entre el agua y la atmósfera adopta el aspecto de un desierto: aparte de las aves, de los delfines y de los peces voladores, raros son los animales que surcan regularmente esta superficie. La labor de los oceanógrafos consiste esencialmente en restituir al océano su tercera dimensión —el espesor— y en estudiar la masa líquida en su conjunto, recogiendo para ello todo género de informaciones: físicas, químicas, biológicas, etc.

Para recoger los datos sobre los que construyen su ciencia, los oceanógrafos disponen de una amplia panoplia de medios técnicos. En las estaciones terrestres, pueden medir la amplitud de las mareas, la fuerza de los temporales, la velocidad del viento, etc. Instalando boyas dotadas de instrumentos de medida y de registro, tienen la posibilidad de completar sus datos: algunas de estas unidades flotantes incorporan numerosos aparatos, sumergidos a diferentes profundidades. Los barcos oceanográficos constituyen, naturalmente, los mejores vehículos cuando se trata de obtener los numerosos parámetros que caracterizan al océano; los hay pequeños y grandes, dotados de equipos más o menos sofisticados; a algunos puede dárseles el nombre de auténticos laboratorios flotantes; otros son menos complejos: transportan a los científicos a alta mar para recoger muestras, pero no disponen de los aparatos necesarios para tratar las informaciones obtenidas.

Recientemente se han puesto a disposición de los oceanógrafos muchos otros instrumentos de investigación. Las plataformas flotantes combinan las ventajas de las boyas y las de las estaciones terrestres: permiten obtener datos continuos referentes a un campo marítimo bien definido, y analizarlos de manera concienzuda. Pero son los satélites de observación los que tienen ante ellos un brillante porvenir. Estos aparatos, situados generalmente en órbita geoestacionaria, llevan a bordo numerosos instrumentos de teledetección y telemedición muy perfeccionados. Gracias a ellos, se pueden supervisar permanentemente inmensas porciones del océano. La combinación de las posibilidades de los satélites artificiales y de los barcos oceanográficos da resultados particularmente afortunados.







Oceanógrafos trabajando. *La ciencia oceanográfica es pluridisciplinaria por definición: recurre a los conocimientos y al espíritu de inventiva de los físicos, químicos y biólogos. Trabaja frecuentemente en estrecha cooperación con la meteorología, esa ciencia del aire cuyo objeto es el otro gran fluido de nuestro planeta. En la página anterior, a la izquierda: la instalación de un equipo destinado a ayudar a los pilotos de los barcos, en el atolón Ulithi; a la derecha: colocando un reflector de radar, para asegurar el «posicionamiento» preciso de un barco oceanográfico en el mar. Aquí, arriba, a la izquierda: el sumergible de bolsillo Perry PC-8 y su barco de acompañamiento. A la derecha: lanzamiento de un globo-sonda desde el puente de un rompehielos. Abajo: un laboratorio para estudiar el movimiento de las olas y de las mareas, y sus efectos sobre las costas. Se ha construido una maqueta.*

Los patrulleros del mar

DESDE muy temprano se han utilizado barcos especialmente pensados para ayudar a los otros en los parajes difíciles, sobre todo en los mares nórdicos. Estas unidades, algunas de las cuales desalojan cientos de toneladas, deben ser mandadas por capitanes sumamente experimentados. Una de las primeras de este tipo fue el barco-faro instalado, en 1732 en Gran Bretaña, frente al estuario del río Nore. Ejemplo que fue rápidamente seguido en el resto de Europa y en Estados Unidos. Por regla general, estos navíos permanecen anclados en los lugares más peligrosos: por ejemplo, en los bajíos inestables, cerca de escollos rasantes o en las inmediaciones de los hielos. Disponen de señales luminosas (faros, luces destellantes) y sonoras (sirenas para la bruma, etcétera).

Con frecuencia, los oceanógrafos utilizan estos patrulleros para recoger valiosas informaciones. Son, por definición, particularmente apropiados para estudiar los bancos de arena, los hielos flotantes, las corrientes violentas, los temporales, etc. Como estos barcos funcionan a menudo de acuerdo con boyas de grandes dimensiones, es más racional todavía utilizar igualmente estas últimas para recoger datos suplementarios. Todas estas mediciones, una vez analizadas, permiten, en justa reciprocidad, mejorar la seguridad de la navegación.

Para su incansable trabajo de obtención



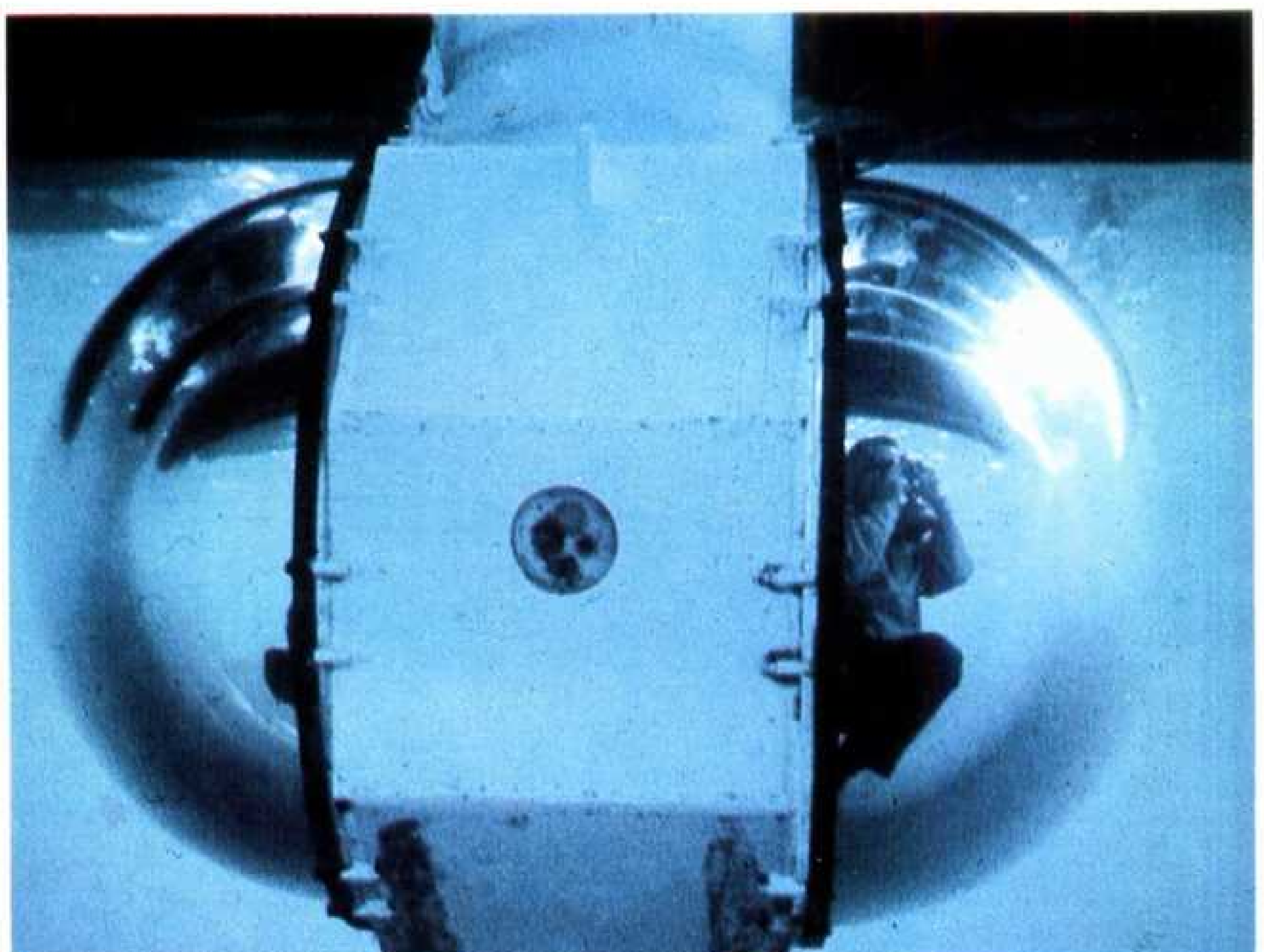
de muestras y de datos, los oceanógrafos utilizan otros tipos de navíos: los guardacostas. Su misión principal consiste en patrullar sin cesar en las aguas territoriales de sus respectivos países, pero contribuyen también a estudiar, por largos periodos, las variaciones físicas, químicas y biológicas de las masas acuáticas sobre las que evolucionan.

Los guardacostas constituyen una flota sumamente eficaz. Intervienen no sólo en el estudio de las corrientes, de los desplazamientos de las masas de agua, de las temperaturas y salinidades, etc., sino también en las investigaciones topográficas, en la determinación de los perfiles de los fondos, e incluso en los estudios geológicos requeridos en los sondeos petrolíferos *off-shore.*

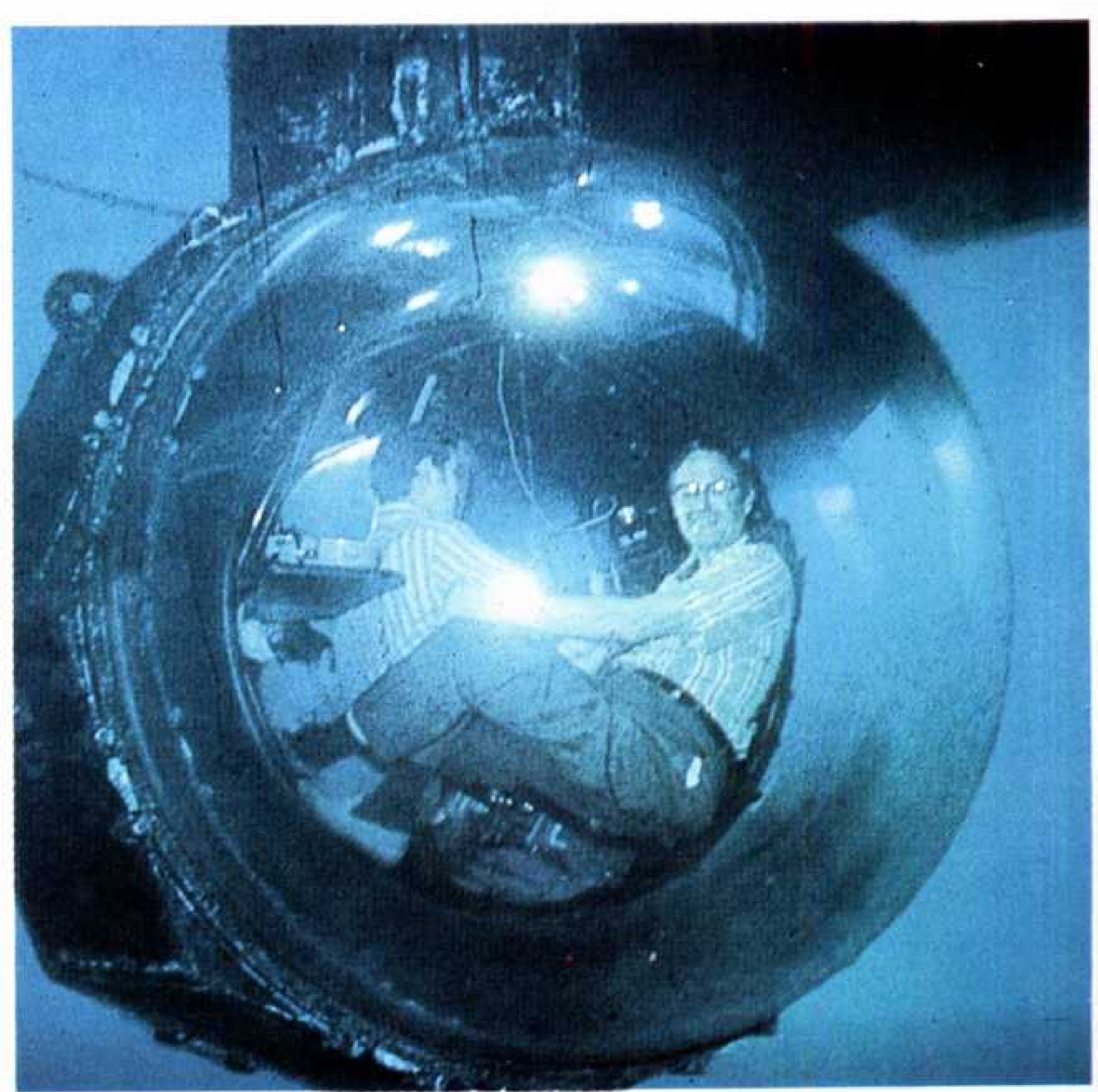
En los parajes nórdicos, los rompehielos realizan un trabajo considerable, al hacer practicables las rutas comerciales. Pero también ellos están a menudo dotados de laboratorios oceanográficos.

Sus misiones habituales se complementan y duplican con investigaciones sobre los icebergs, sobre la forma de constituirse la banquisa, sobre los animales del océano glacial y otros muchos estudios del mayor interés.



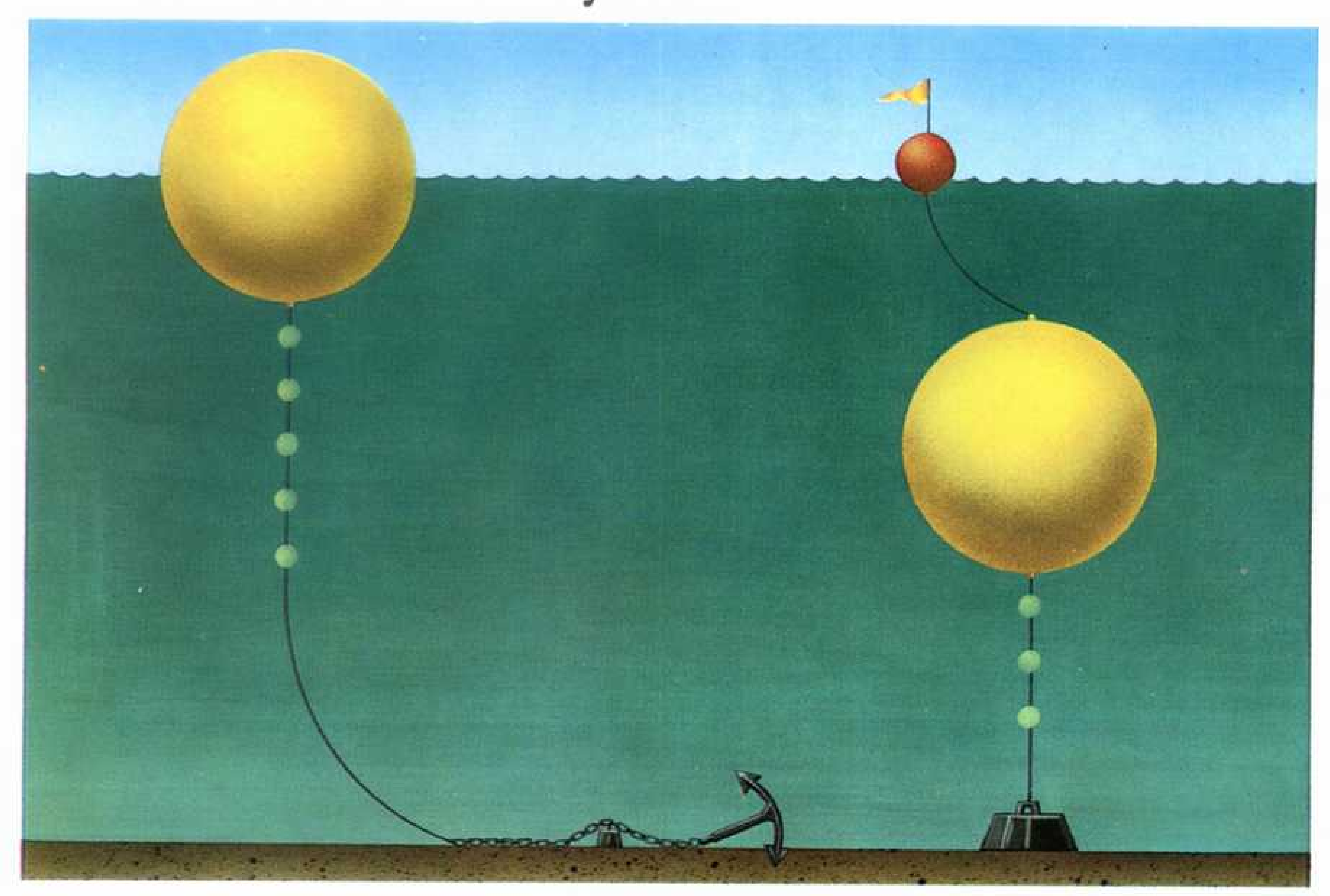




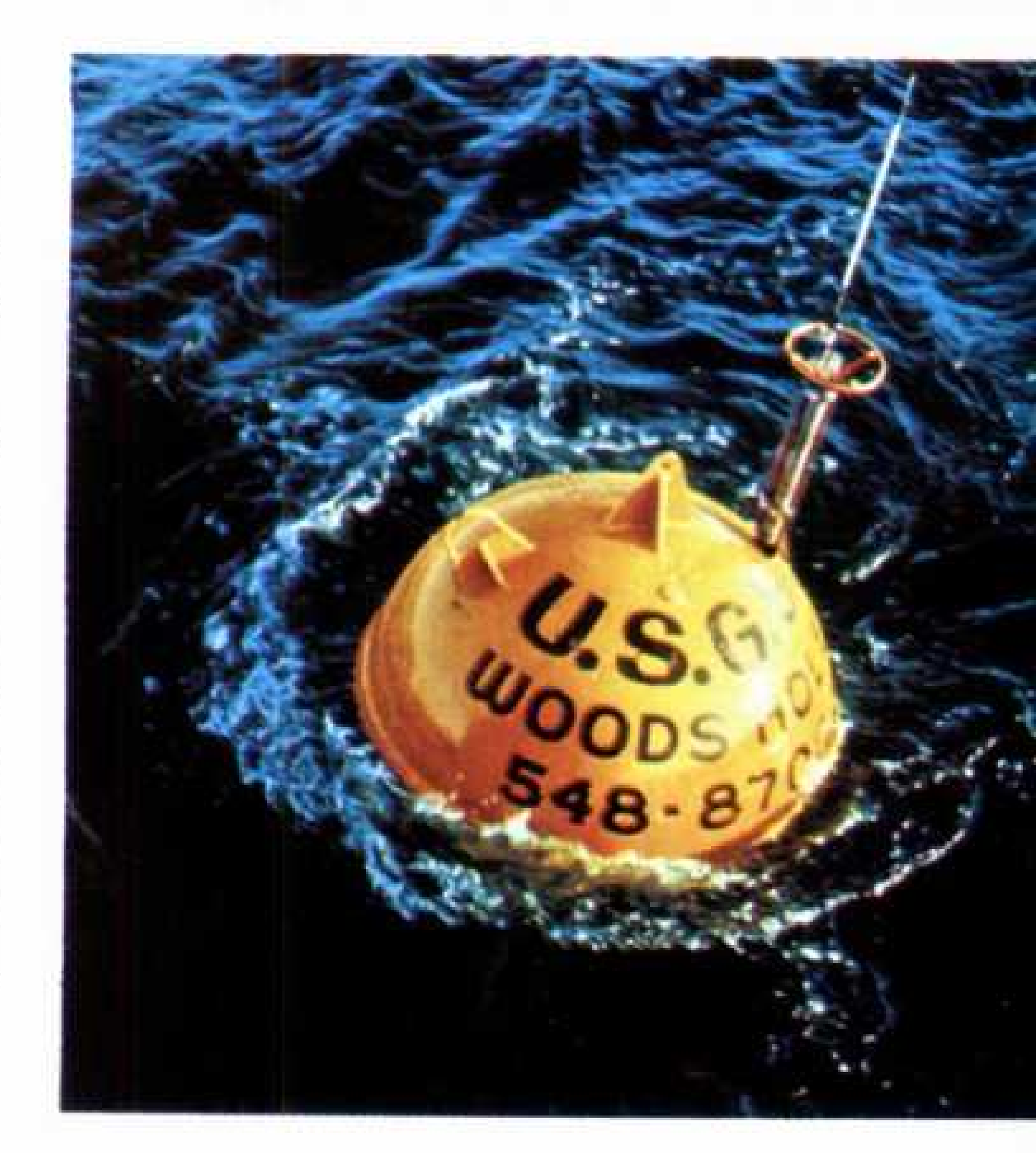


Barcos bien equipados. *Los remolcadores (en la página anterior, arriba) son muy «robustos»: deben aguantar los más duros temporales. Los rompehielos tienen cascos particularmente resistentes. En la página de la izquierda, abajo, se puede ver los que la Marina americana tiene en aguas del océano Antártico. Los barcos oceanográficos mismos son muy diferentes entre sí. Aquí, a la izquierda: el aparejo fotográfico que puede ser calado al fondo del mar en los pozos de observación del* Mizar. *Arriba, a la izquierda: el catamarán de investigaciones* Sea-See: *este barco está dotado de una cámara submarina de observación, situada entre sus dos cascos, que muestran las dos fotografías de aquí arriba.*

Una red de boyas





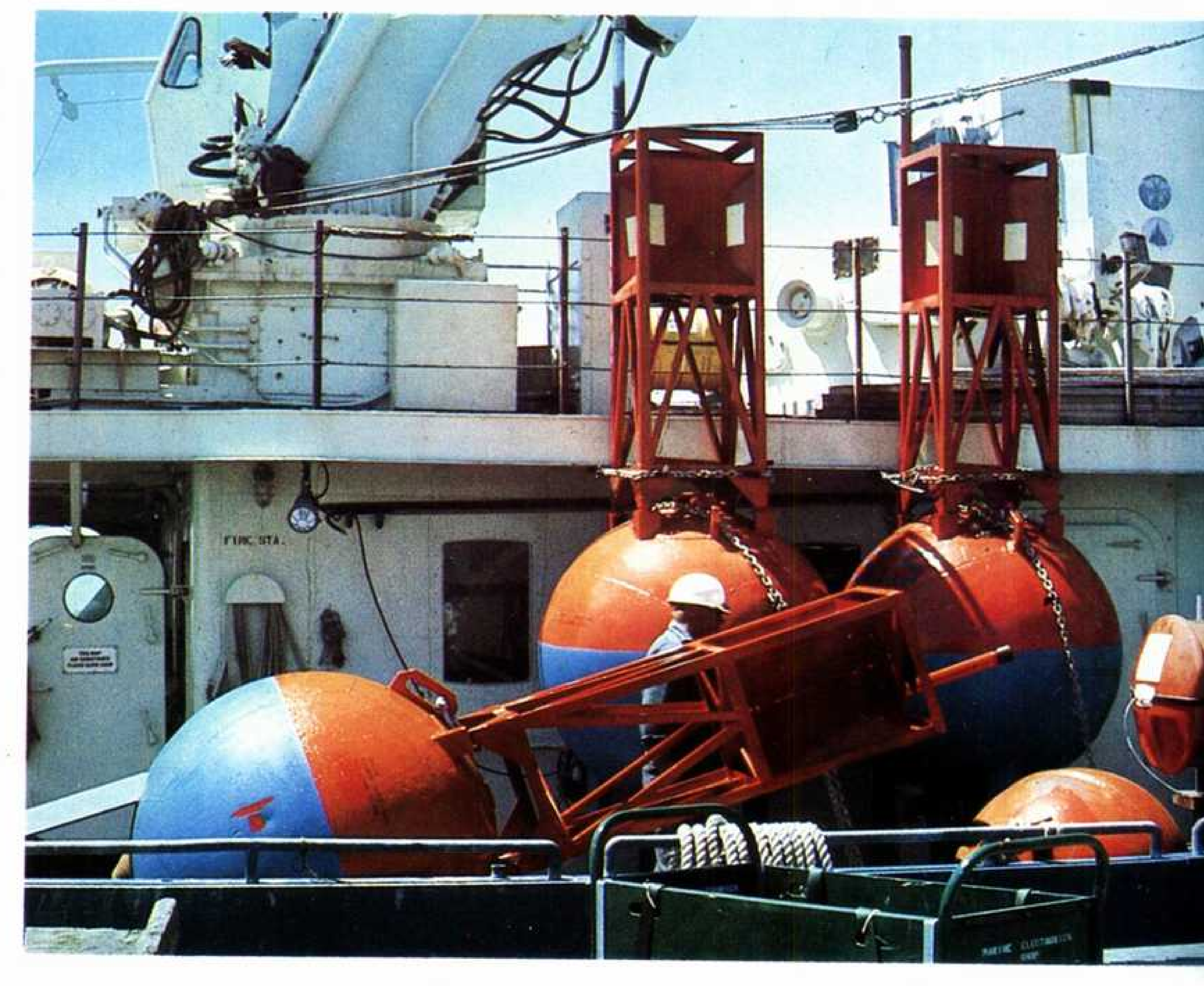


LAS boyas oceanográficas son de formas, dimensiones y principios bastante diferentes. Hasta hace poco estaban equipadas con instrumentos de registro, que los científicos tenían que ir a recoger con regularidad en barco. En nuestros días, muchas están provistas de una emisora de radio que envía las informaciones recogidas hacia una estación oceanográfica en tierra, bien directamente o por medio de un satélite. Los mensajes son codificados para mandarlos con mayor facilidad, y descodificados a su llegada.

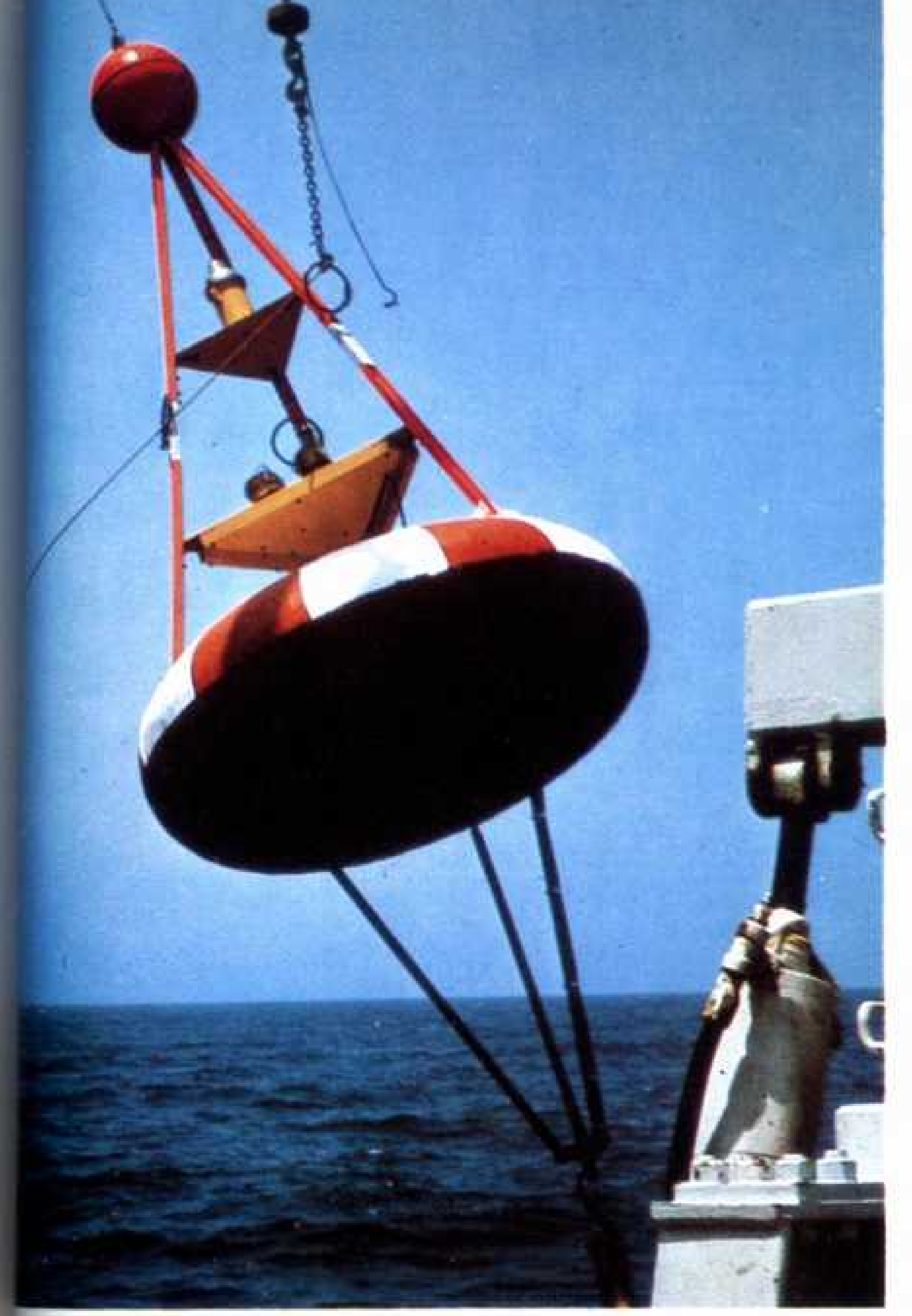
Estos perfeccionamientos técnicos no impiden que se sigan planteando numerosos problemas. Los más difíciles de resolver siguen siendo los que presentan los movimientos del mar. El anclaje de las boyas flotantes es delicado. Si se calculan mal las fuerzas que se ejercen sobre el cable de fondeo, se corre peligro de que la boya se desprenda en el curso de una tempestad y que se pierda un equipo tan costoso. El flotador principal puede dejarse en la superficie. En este caso hay que prever que el cable tenga un cierto juego, pues si no, las olas y el oleaje, o las eventuales corrientes, pueden hacerle ceder. Los aparatos de medida asociados a este tipo de boyas se desplazan en un cierto radio, al mismo tiempo que su soporte. Los resultados obtenidos se ven, pues, empañados por una lamentable imprecisión. Los oceanógrafos deben tener en cuenta la altura de la marea al momento del registro de los datos, etc.

Para paliar este inconveniente se recurre a boyas de anclado rígido. Estas están completamente sumergidas, y se mantienen sobre la vertical de su punto de amarre en el fondo. Los aparatos de obtención de datos que llevan efectúan las mediciones siempre exactamente en el mismo punto geográfico y a la misma profundidad. Los resultados científicos son mucho mejores. El anclado de tales boyas es más difícil de lograr que el de las clásicas; pero a menudo vale la pena.

Uno de los inconvenientes de las boyas sumergidas reside en que las ondas de radio no atraviesan las capas de agua. Para hacer que la boya pueda emitir hacia un satélite artificial en órbita o hacia una estación situada en tierra, se coloca una emisora en una boya secundaria, en superficie; ésta queda comunicada con la boya principal por medio de un cable tendido al efecto.

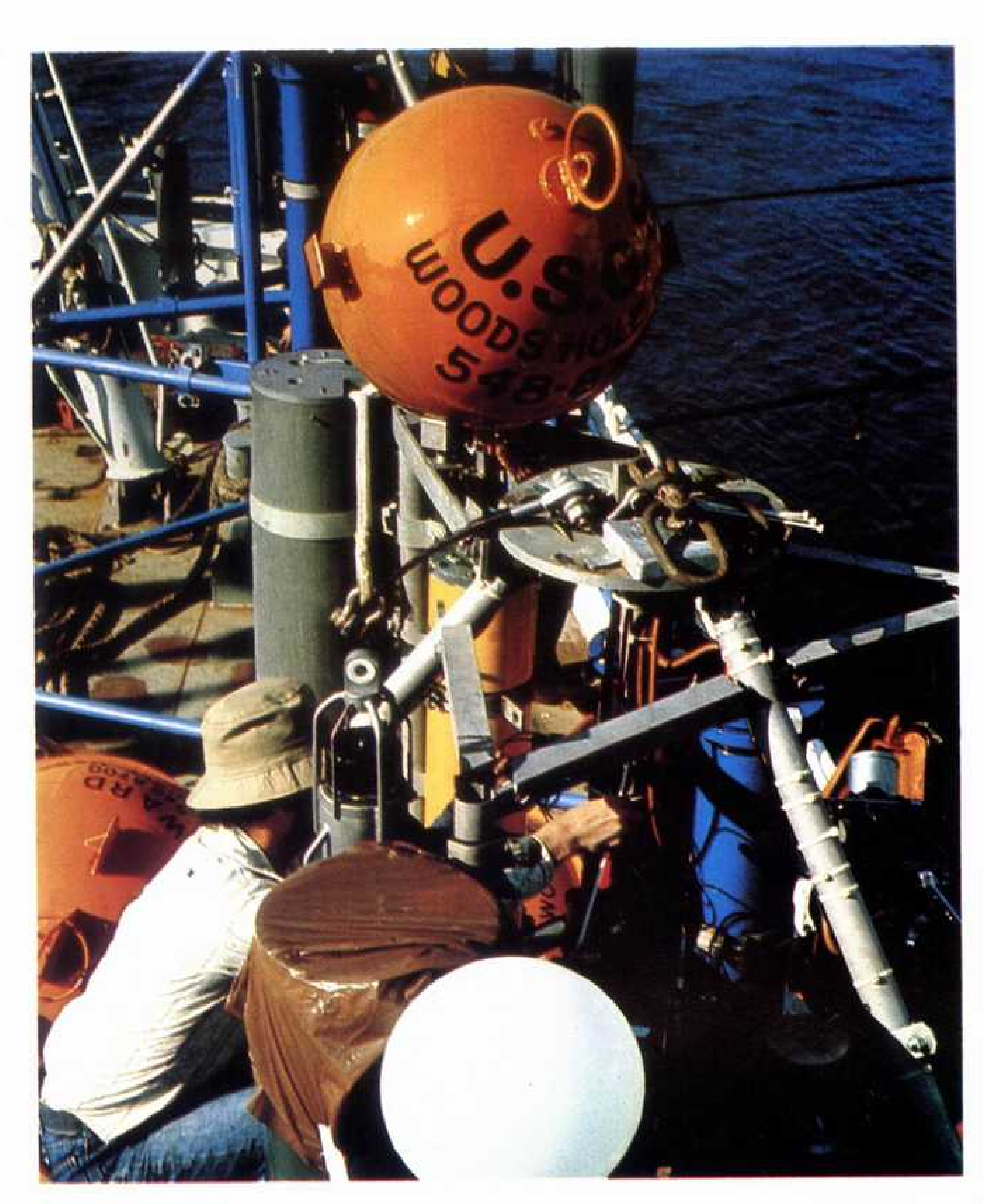




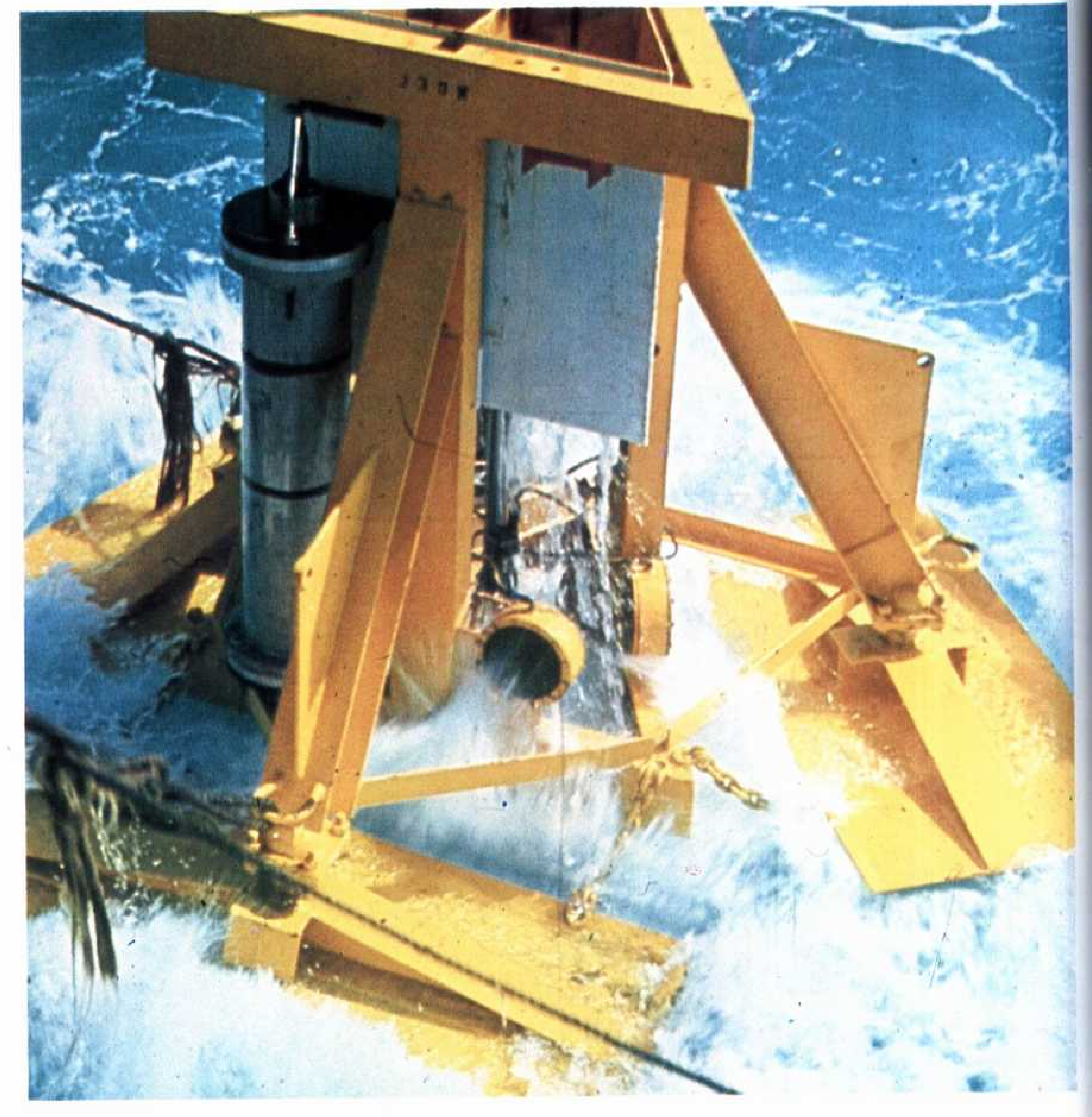


Cómo fondear los flotadores. *Las boyas se cuentan entre los instrumentos de investigación oceanográfica más interesantes. Tienen, sobre todo, la ventaja de ser poco costosas. Se las fondea en superficie (y móviles en relación con su ancla) o entre dos aguas (y firmemente atadas a su lastre; esquema de la página anterior). Se las dota de diversos tipos de aparatos de captación (termómetros, manómetros, correntómetros, etc.), que registran los datos recogidos o que los comunican por radio utilizando la energía de una batería de acumuladores. En la página anterior, de arriba abajo: una boya de señalización coronando un caballete de recogida de muestras; una boya de «posicionamiento» destinada a la labor de un barco de la Woods Hole; boyas para la investigación geológica. En esta página: arriba, a la izquierda, una boya oceanográfica y meteorológica; abajo, a la izquierda, colocando una boya del mismo tipo; aquí arriba: fotografía que muestra cómo las aves marinas y las focas utilizan las islas artificiales...*

Instrumentos en el fondo





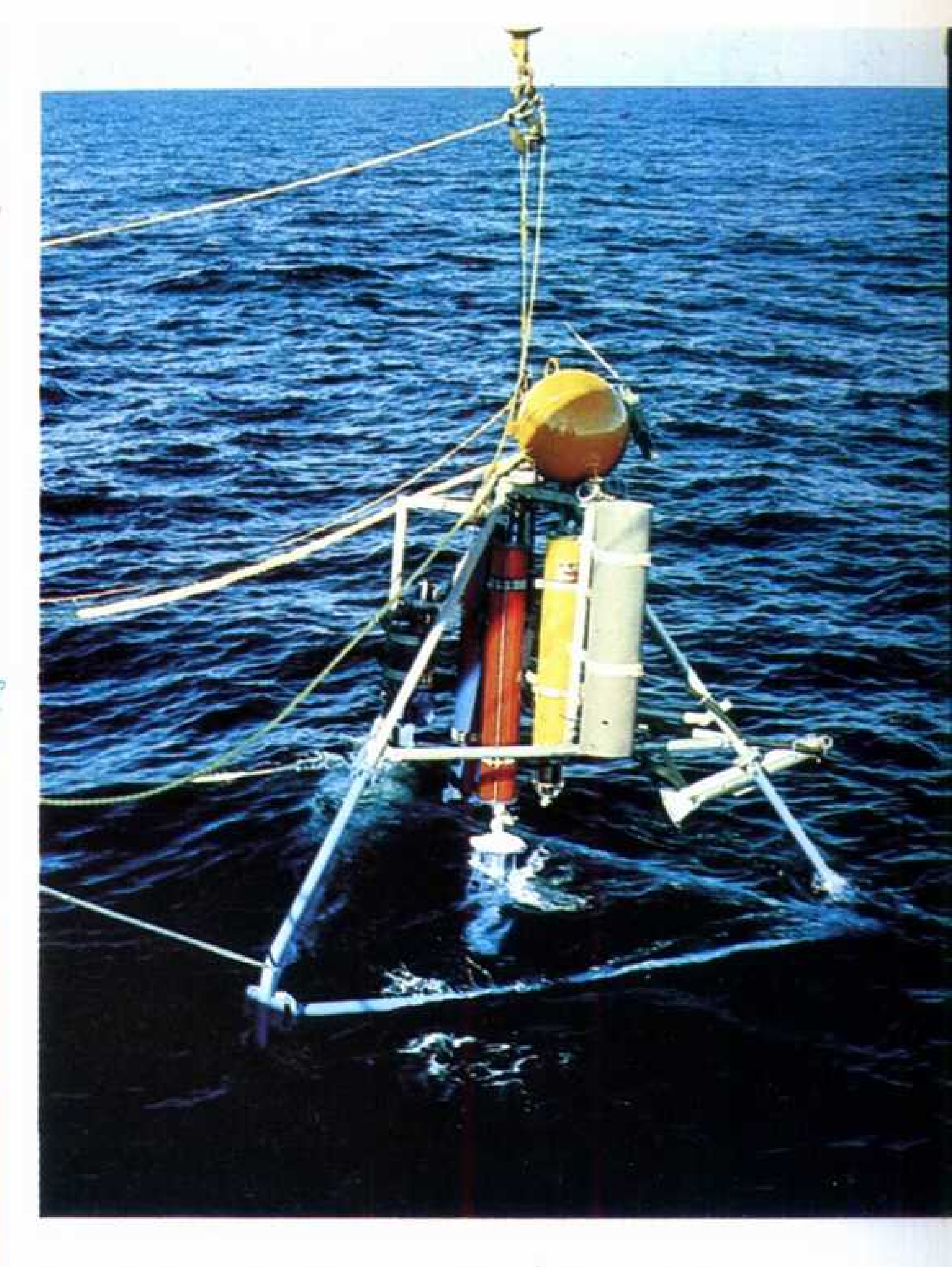


Los considerables progresos de la electrónica apenas están empezando a beneficiar a la ciencia oceanográfica.

Los instrumentos de medida, de registro y de medición modernos requieren cada vez menos energía, teniendo en contrapartida una mayor eficacia. El más pequeño de los captores electrónicos permite obtener decenas de miles de *bits* (unidades de información) en tiempos sumamente breves, y con un consumo de energía ridículamente escaso. El verdadero problema que presentan estos aparatos es que la mente humana, incluso empleada a tiempo completo durante años, no logra tratar las informaciones recibidas durante apenas unos meses. Y hay que recurrir casi necesariamente a los servicios de las computadoras.

El fondo de los mares presenta gran interés. Los geólogos y geofísicos leen en él la historia de nuestro globo. Las compañías petroleras buscan en él nuevas bolsas de hidrocarburos. Las autoridades portuarias deben calibrar la erosión local, o, por el contrario, la velocidad de la acumulación sedimentaria. Los pescadores quieren saber con qué recursos piscícolas pueden contar. Los biólogos y los ecólogos tienen que estudiar los seres vivos que constituyen el bentos. Por todas estas razones, pronto se trató de sumergir aparatos de registro, dotados o no de cámaras de televisión y de cine.





Los sistemas de caballete. *Las fotografías de esta doble página muestran las diversas operaciones de preparación y fondeo de los caballetes oceanográficos. Estas estructuras metálicas son depositadas sobre el fondo del mar. Dotadas de aparatos de captación, registran gran número de datos locales (salinidad, temperatura, turbidez, sentido y fuerza de las corrientes, etc.). Pueden funcionar automáticamente, durante seis meses; pero quince días son a veces suficientes.*

Los sistemas más sencillos —y, al mismo tiempo, los más estables— son los caballetes metálicos. Estos aparatos, como arañas de grandes patas, son calados sobre el fondo al cabo de un cable. Se procura que adopten una posición sólida, y que la velocidad de la erosión local no los desequilibre.

Los aparatos de medida que llevan estos soportes son en general correntómetros (destinados a proporcionar indicaciones sobre la velocidad y el caudal de las corrientes profundas), manómetros, termómetros, aparatos de registro del flujo luminoso, etc. Según la potencia y la durabilidad de las baterías que proporcionan energía a estos instrumentos, los caballetes son dejados más o menos tiempo en su sitio. En la práctica, el plazo varía de dos semanas a seis meses.

El mayor peligro que amenaza a los caballetes oceanográficos, cuando están sumergidos a menos de 100 metros de profundidad, consiste en las grandes redes barrederas de los pescadores. Para evitar que los destruyan, se señalan en la superficie por medio de boyas muy visibles, y se comunica su posición a los barcos arrastreros.

Boyas especializadas

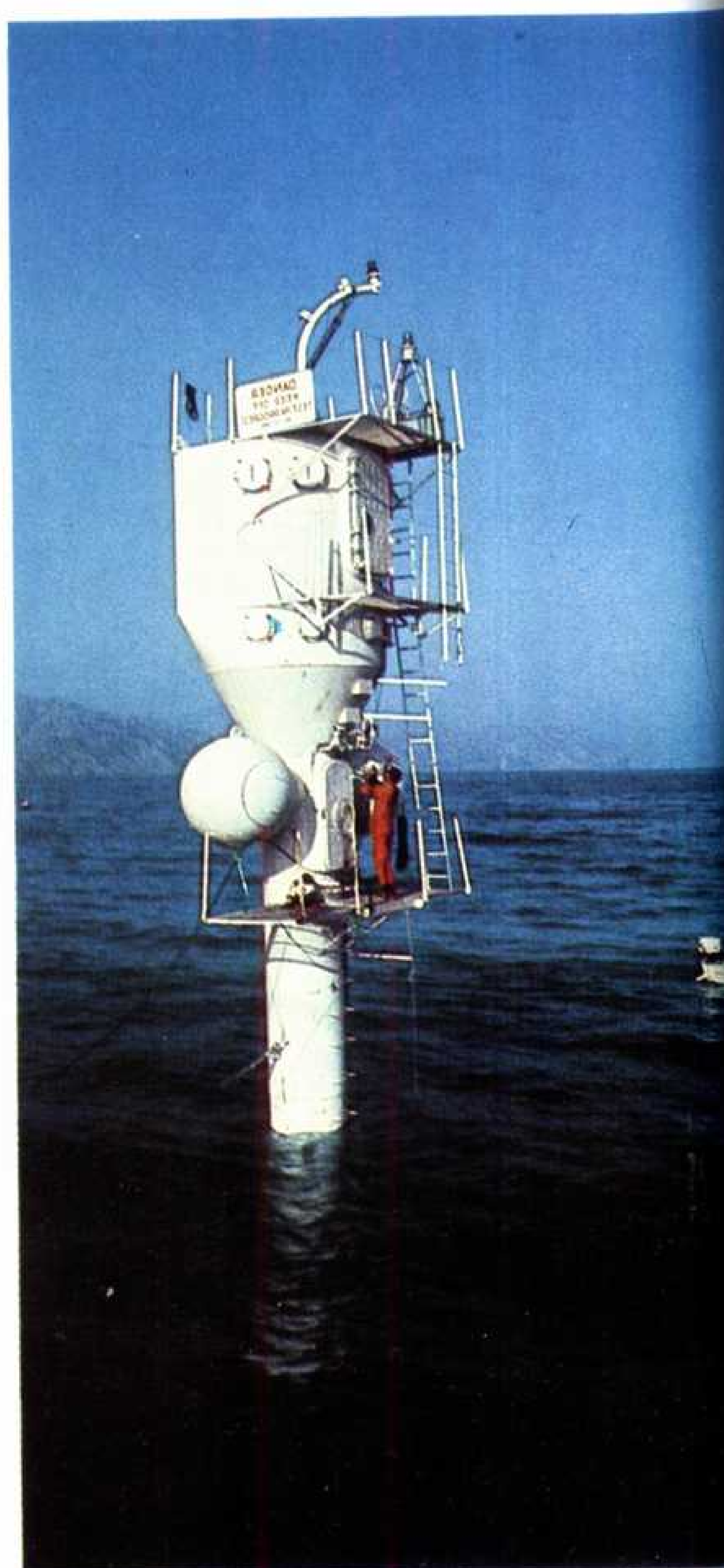
PUEDE decirse que, en su mayoría, los datos reunidos en los estudios meteorológicos y oceanográficos se obtienen mediante boyas.

Uno de los sistemas de mayores rendimientos en este campo es el que los americanos han experimentado con el nombre de NOMAD (Navy Oceanographic Meteorological Automatic Device, Dispositivo Automático de la Marina para la Oceanografía y la Meteorología). Se trata de una red de boyas del mismo tipo, con un casco similar al de una embarcación, con seis metros de longitud y tres metros de anchura aproximadamente.

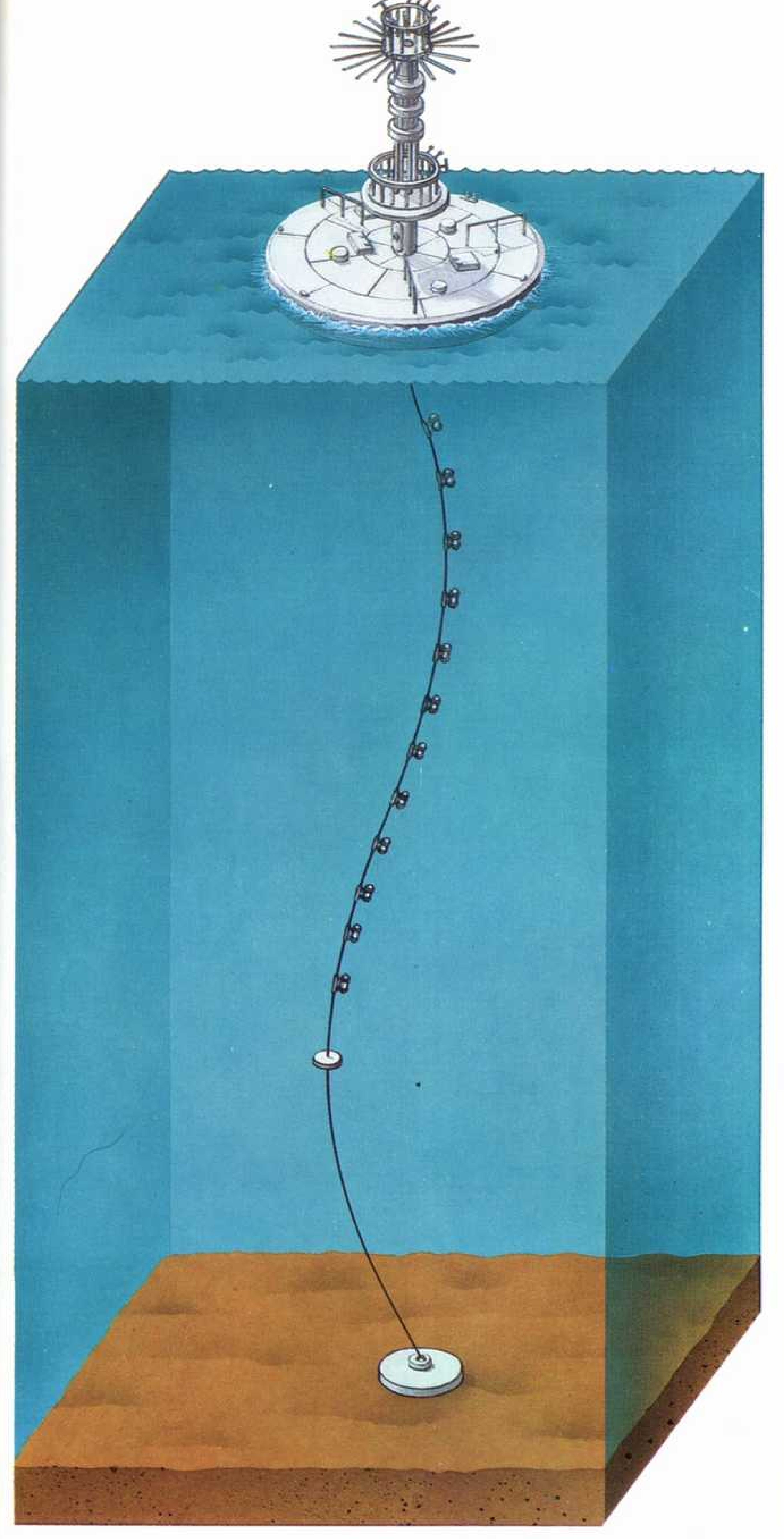
Este casco es fondeado y anclado mediante anclaje no rígido. Los aparatos de medida, o sensores, son abastecidos en energía por una pequeña central de combustible nuclear. Los datos recogidos se transmiten a la costa por radio. Estas señales son emitidas en forma de «trenes» cada seis horas cuando hace tiempo normal, y cada hora en caso de temporal. Por su tamaño, que puede hacerlas peligrosas para la navegación, las boyas NOMAD están provistas de luces de señalización y pintadas de vivos colores.

Frente a las costas de Norteamérica se han empleado boyas de mayores dimensiones todavía, en el marco del programa Data Buoy Office de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Estos artefactos, 18 en total, proporcionan datos múltiples sobre los vientos y el estado del mar; «hablan» cada tres horas a un satélite de telecomunicación situado en órbita geoestacionaria, y comunicado él mismo a un centro de análisis terrestre. Estas boyas, con 12 metros de diámetro, proporcionan valiosas informaciones, de las que pueden disponer de inmediato los barcos de pesca o comerciales, sobre el mar y sobre las condiciones atmosféricas. Pero estos ingenios gigantes no dejan de plantear problemas de seguridad: ofrecen mucha superficie al viento y las olas. Un día, una de estas boyas rompió amarras y fue a la deriva durante 2.000 kilómetros en un océano que se mostraba desencadenado, antes de poderla recuperar.

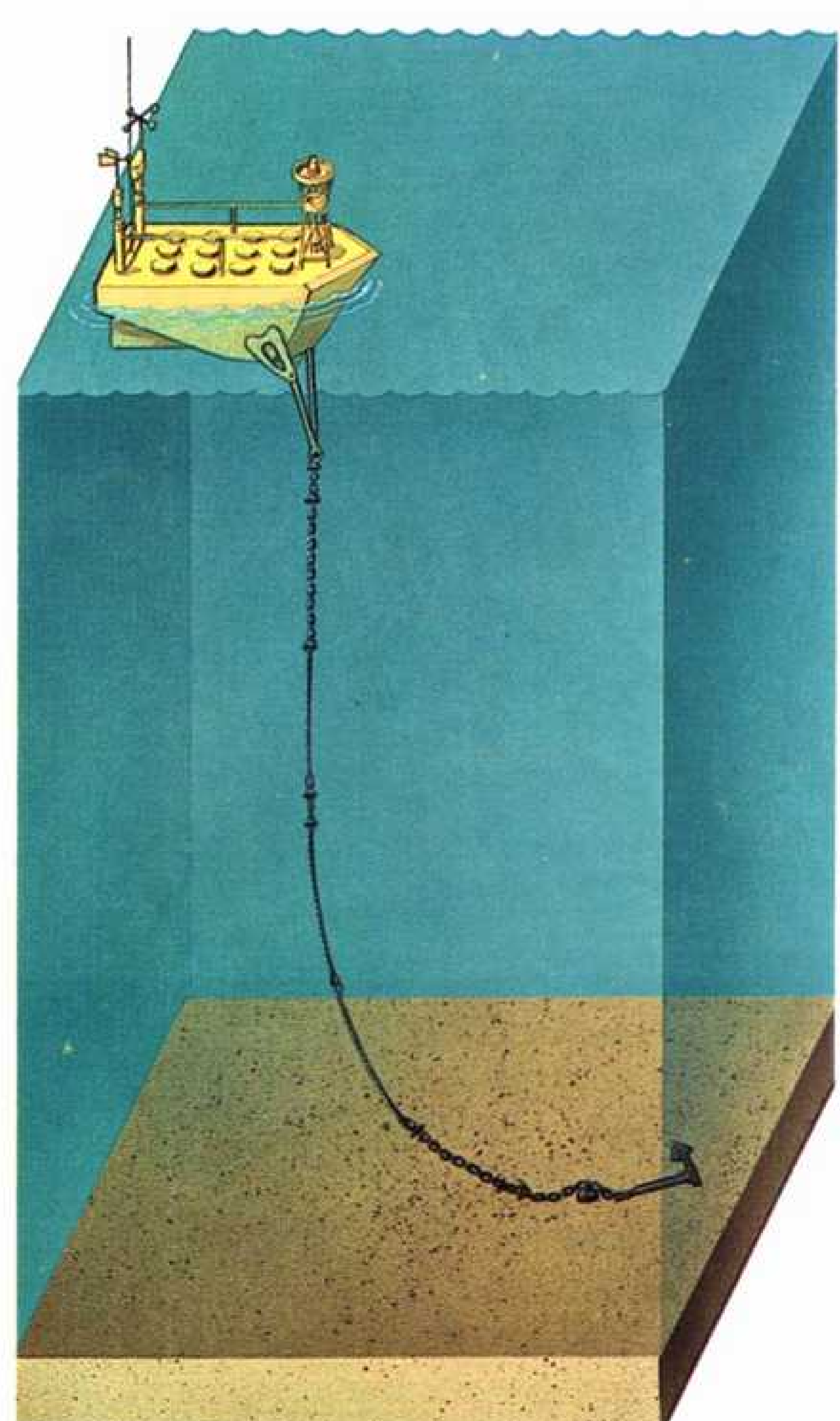
En la actualidad, los servicios de previsión meteorológica de numerosos países del mundo colaboran a fin de proporcionar a todos cuantos lo necesitan una imagen fiel de las condiciones del tiempo para al menos 48 horas. Sistemas de boyas se instalan en numerosos países. Los ideal sería que acabaran por tender una red mundial: entonces, tal vez, gracias a los datos que proporcionaran y a su interpretación por computadora, se lograría adelantar a una semana, y más todavía, la predicción del tiempo, con las consecuencias enormemente positivas que es fácil imaginar.



Investigaciones acústicas en el mar. *Las boyas verticales sirven para todo tipo de investigación oceanográfica, particularmente para estudiar la propagación de las ondas. Gracias a la experimentación en este campo se logra establecer con precisión la estructura de las capas del océano.*







Las boyas meteorológicas. *Las boyas del tipo NOMAD, fondeadas por la NOAA americana, son de grandes dimensiones (arriba y al lado). Sirven esencialmente para recoger datos meteorológicos.*

Las boyas para todo uso. *Los artefactos flotantes del tipo ORB (Oceanographic Research Buoy) se emplean en tareas muy diversas. Por ejemplo, sirven para el «posicionamiento» de los barcos, o para recoger datos múltiples sobre las profundidades oceánicas (esquema de la izquierda). Estas boyas cuentan con la asistencia de lanchas de servicio y varios hombres (fotografías de abajo).*





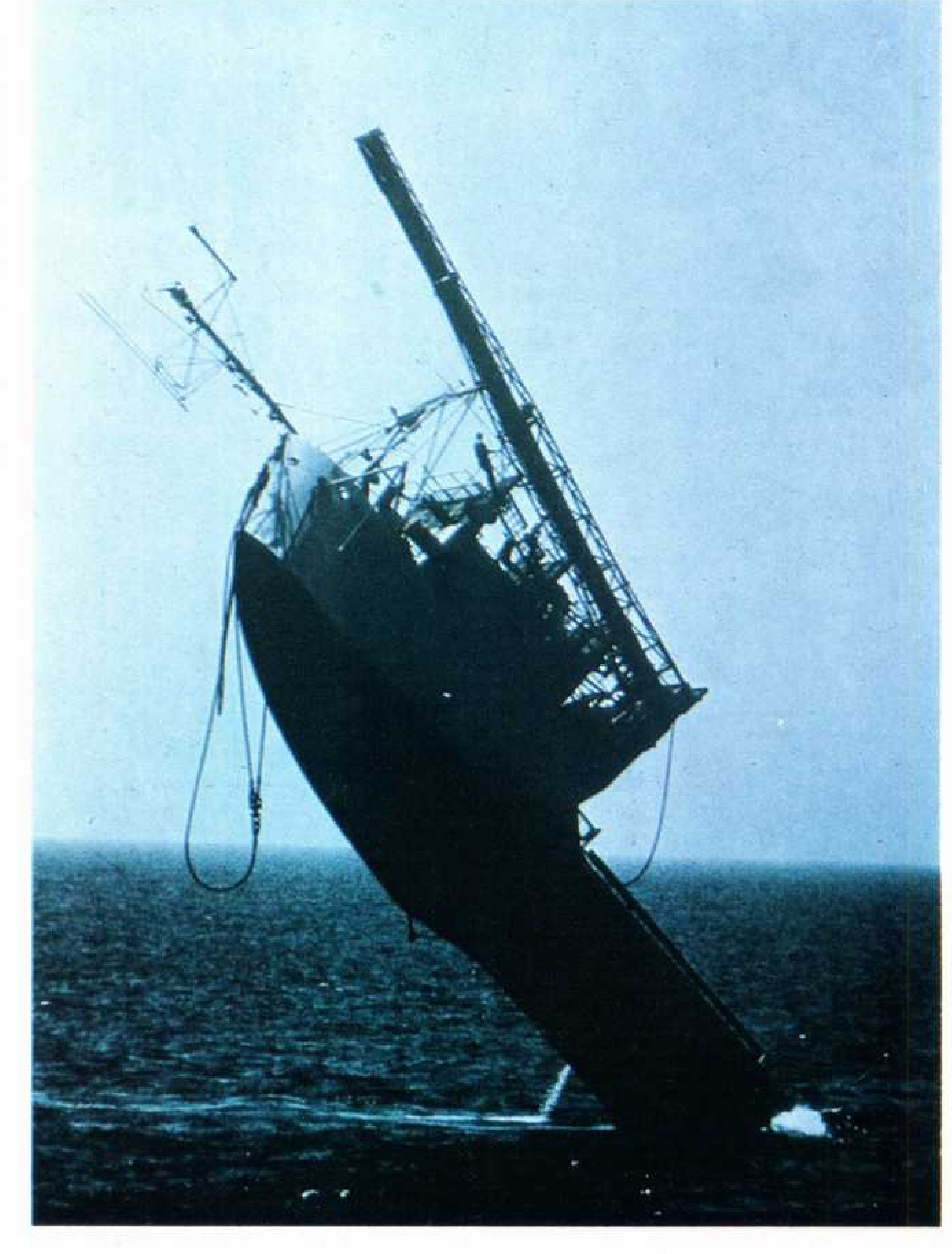
Un FLIP invertible



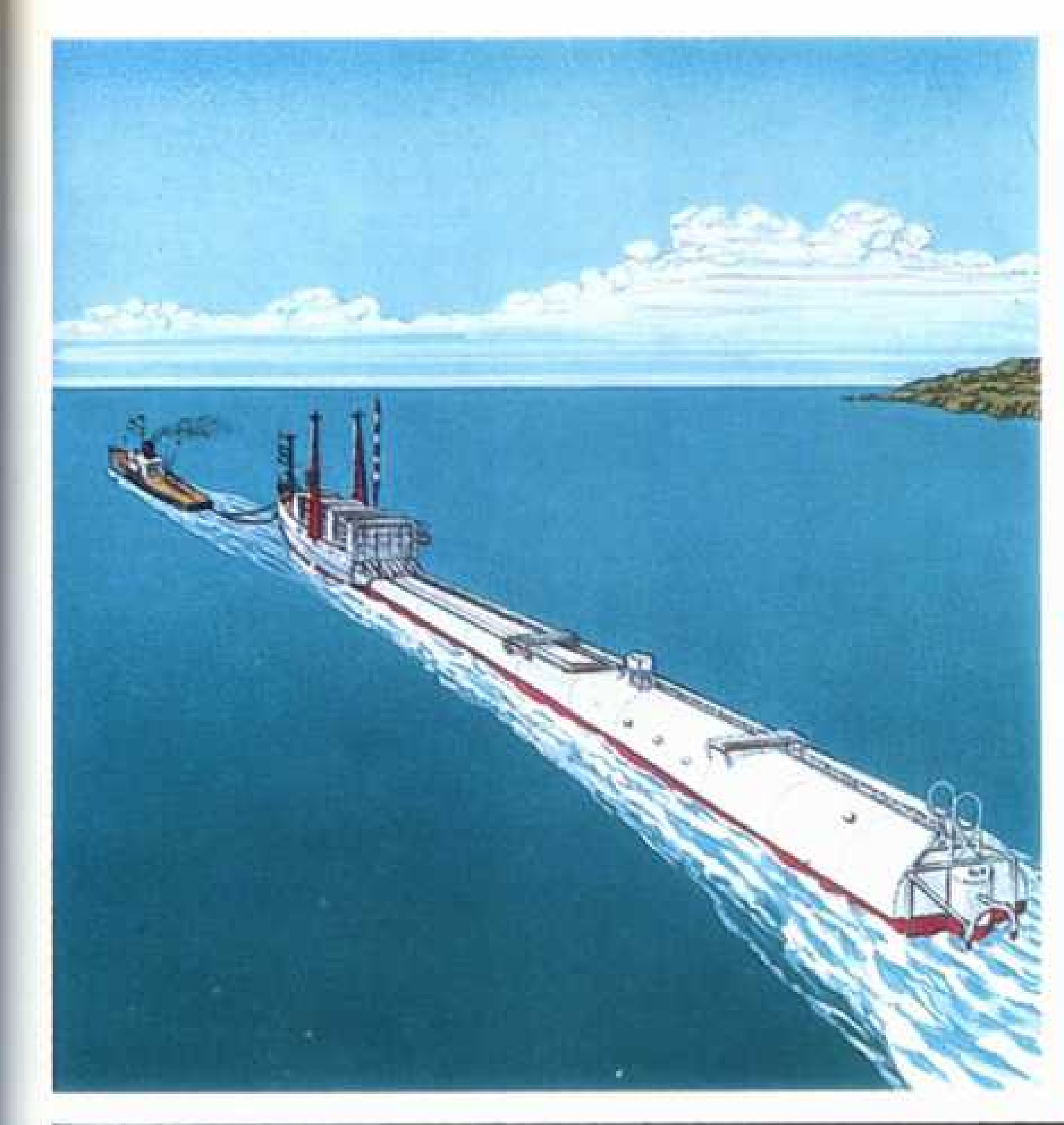


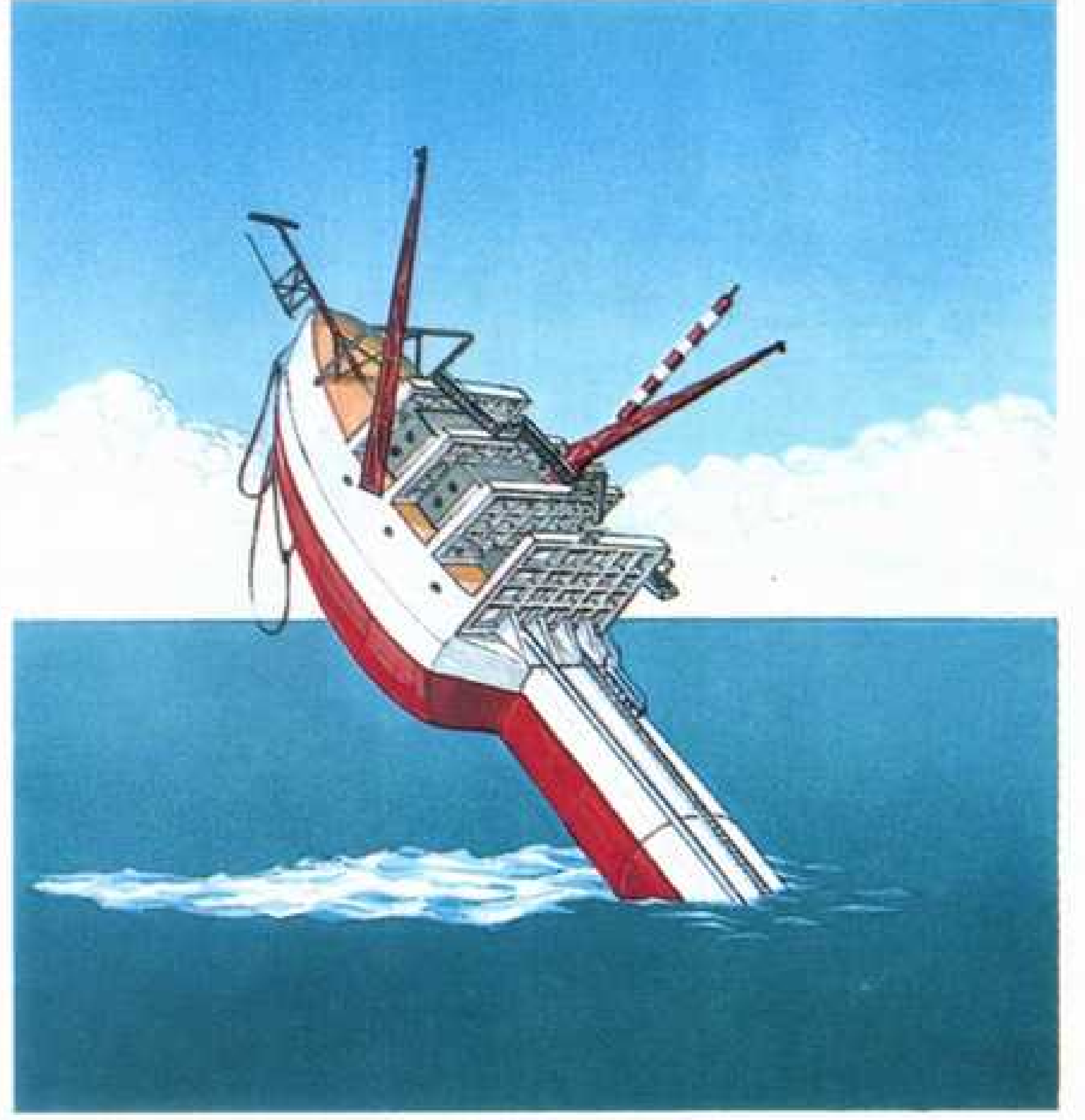
LA más extraña de todas las boyas oceanográficas sigue siendo, sin duda alguna, el FLIP (Floating Instrument Platform, Plataforma Instrumental Flotante). Se trata de una unidad de investigación que lleva una tripulación. Su longitud alcanza los 110 metros. Es remolcada al sitio previsto para anclarla en posición acostada, como un barco cualquiera. Cuando ha llegado al lugar, se empina lentamente; la parte más estrecha se hunde en el agua, mientras la parte más ancha se levanta sobre la superficie: al final de la maniobra, sobresale de las olas 16 metros. Esta estructura emergida comporta cuatro pisos de laboratorios, una sala de máquinas y camarotes para la tripulación. Esta se compone de seis hombres, y es renovada cada quince días. La boya puede ser anclada al fondo o, por el contrario, ir a la deriva. Todo depende de la investigación que se quiera llevar a cabo.

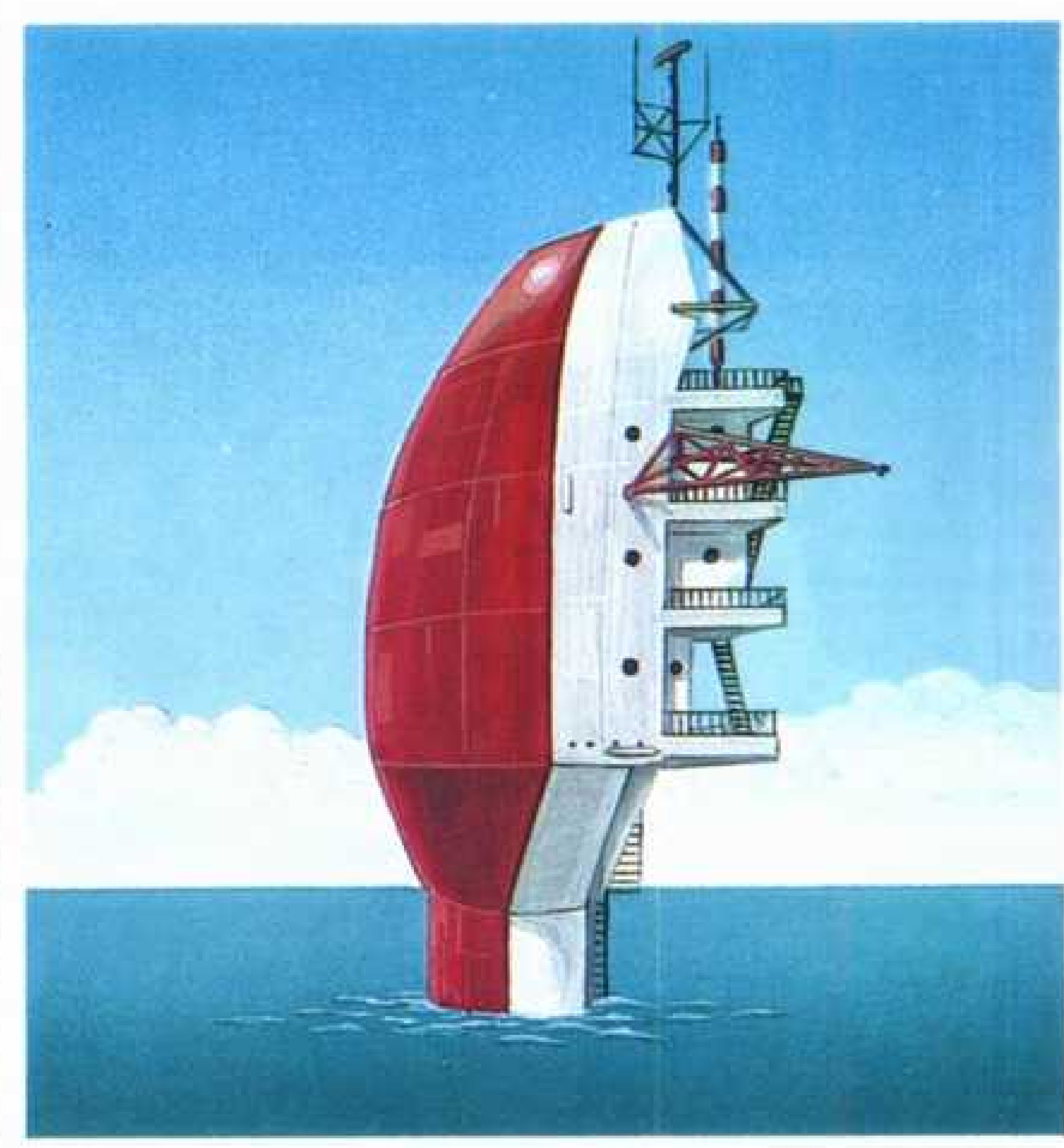
El FLIP constituye un sistema particularmente bien pensado. Dada la profundidad de su «quilla» y del escaso diámetro de ésta, es muy poco sensible a las ondas superficiales (olas y oleaje). Sus oscilaciones verticales son inferiores al 10 por 100 de la amplitud de las ondas superficiales que la afectan. Esta estabilidad es de enorme importancia cuando se requiere una gran precisión en las medidas.



Una extraña plataforma. *El FLIP es una plataforma maravillosamente concebida. Tiene la forma de un largo barco de 110 metros, cuyo casco es cilíndrico casi en su totalidad (seis metros de diámetro). El conjunto del sistema es remolcado hasta su lugar de trabajo. Luego se le hace bascular hacia atrás, de suerte que la proa se encuentra vertical y sobrepasa la superficie del agua en 16 metros. Esta estructura es muy estable. Los laboratorios, situados en la parte superior, apenas sienten los efectos del oleaje. Los diferentes pisos del ingenio permiten efectuar estudios del mar tanto en superficie como a más de 90 metros bajo las olas. Una plataforma francesa, proyectada sobre el mismo principio pero de menores dimensiones, opera actualmente en el mar Mediterráneo.*









El FLIP ha sido ya utilizado en numerosos emplazamientos oceánicos. Una de sus misiones más importantes tuvo lugar en el Pacífico. El ingenio fue empleado como punto de referencia en alta mar, para controlar la propagación de las ondas de período muy grande, procedentes del hemisferio Sur. Por imperativos del experimento, el FLIP fue anclado al norte de las islas Hawai; mientras llevaba a cabo sus propias mediciones, otras estaciones insulares o continentales recogían por su parte datos sobre el mismo fenómeno. La confrontación de estas informaciones permitió trazar la física de la propagación de las grandes longitudes de ondas en el mar.

Pero el FLIP no es la única boya-barco invertible. Basándose en el mismo principio, en Francia se ha construido otra, de dimensiones más modestas, capaz de acoger un equipo científico de cuatro hombres. Esta torreta especial ha llevado a cabo numerosas misiones, especialmente en el Mediterráneo, donde ha hecho posible precisar multitud de parámetros físicos, químicos y biológicos.

Como todas las estructuras flotantes, las boyas invertibles están proyectadas para resistir los más violentos temporales, pero no son totalmente invulnerables. El mar no se deja domesticar nunca, y a veces ocurre que destruye en minutos lo que el hombre creía indestructible...

Torres y plataformas

CUANDO se quiere concentrar el estudio sobre un paraje preciso del mar, y la investigación vale lo que cuesta, no se puede disponer de mejor estación de observación que una plataforma.

Las hay de varias formas, que se pueden clasificar en dos principales categorías: las fijas al fondo por medio de una estructura rígida (mereciendo entonces mejor el nombre de «torres»), y las flotantes, sujetas en su lugar por anclas muy resistentes.

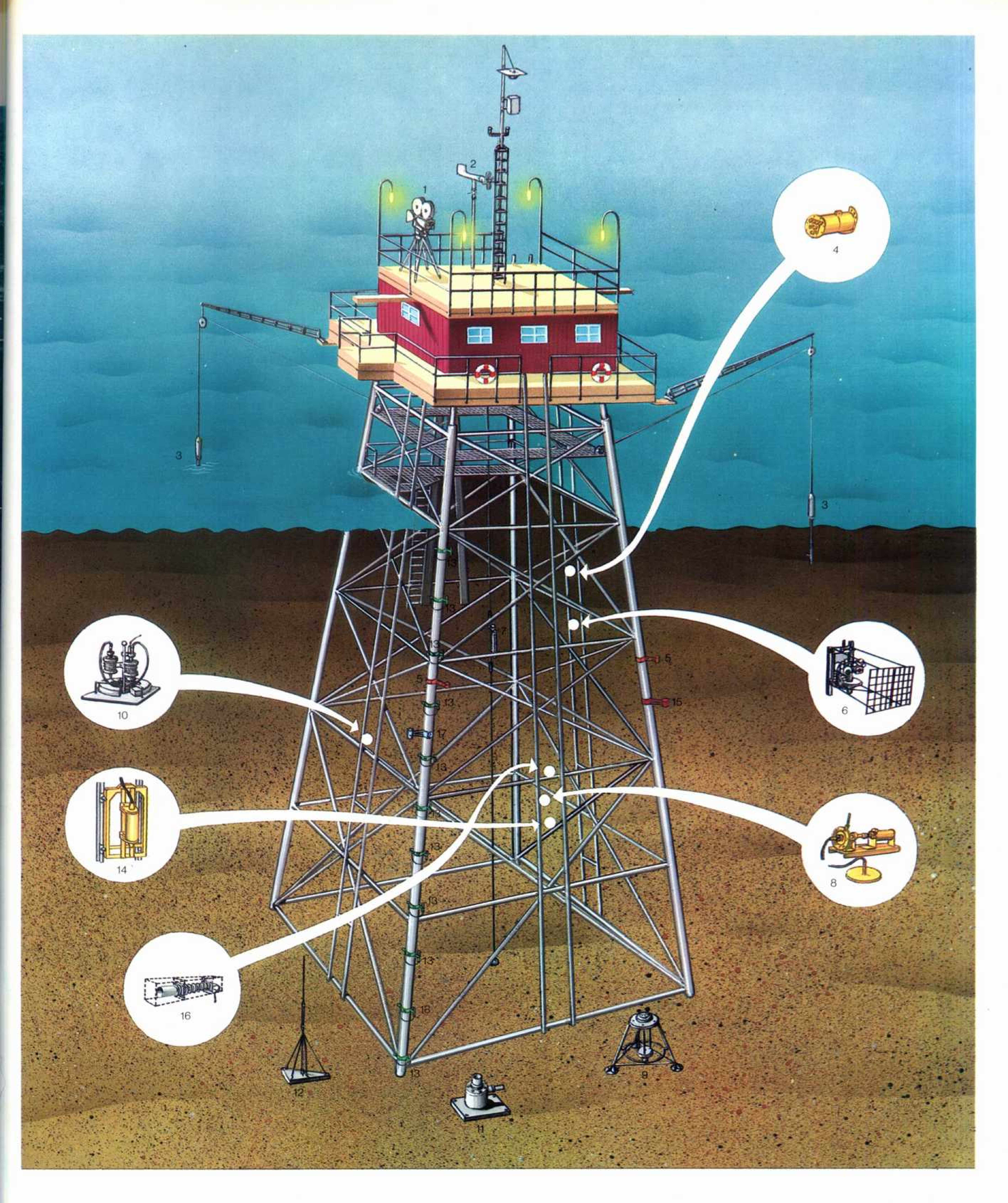
Las primeras son adecuadas en fondos de menos de 20 metros: a mayor profundidad, los problemas que plantea su construcción son tan difíciles de resolver, que la cosa no merece la pena. Las segundas, muy perfeccionadas en la actualidad, son exactamente las que las compañías petrolíferas utilizan en el mar del Norte, en el golfo Arábigo-Pérsico, en California o en el golfo de México. Naturalmente, ningún organismo oceanográfico puede disponer de monstruos comparables a los que las compañías de prospección de hidrocarburos mandan construir. Estas auténticas islas flotantes, a veces de más de 100 metros de altura y provistas de gigantescos flotadores, están reservadas a la investigación y la explotación de los nuevos yacimientos de oro negro.

Las compañías petrolíferas, por lo demás, aceptan de buen grado que equipos de científicos suban a bordo de sus plataformas gigantescas para estudiar la física, la química y la biología marinas. De esta manera ha sido posible que, en los mares donde el subsuelo rebosa de petróleo, se hayan podido llevar a cabo estos últimos años notables progresos en el conocimiento de las corrientes, de las marejadas, de las temperaturas, etc.

En las inmediaciones de las costas puede ser interesante recurrir a la antigua pero eficaz técnica de las escolleras o espigones oceanográficos. Uno de los mayores fue construido hace unos años por el cuerpo de ingenieros de la Armada americana, en la costa atlántica. Mide 600 metros de longitud. Incluye laboratorios científicos, un taller de reparaciones, alojamiento para los hombres e incluso una vía de ferrocarril capaz de soportar vagonetas cargadas con 16 toneladas de material. Naturalmente, estas escolleras sólo se justifican en casos muy determinados. Por ejemplo, puede interesar construirlas cuando se quiere estudiar, durante un largo período, las modificaciones de un lugar (enarenamiento o, por el contrario, erosión). Este trabajo del mar, sumamente complejo, no puede estudiarse sino en condiciones óptimas de medición. Ahora bien, es absolutamente indispensable conocerlo si se quiere, por poner algunos ejemplos, edificar un puerto artificial, terraplenar un lugar ganando sitio a las aguas del mar para

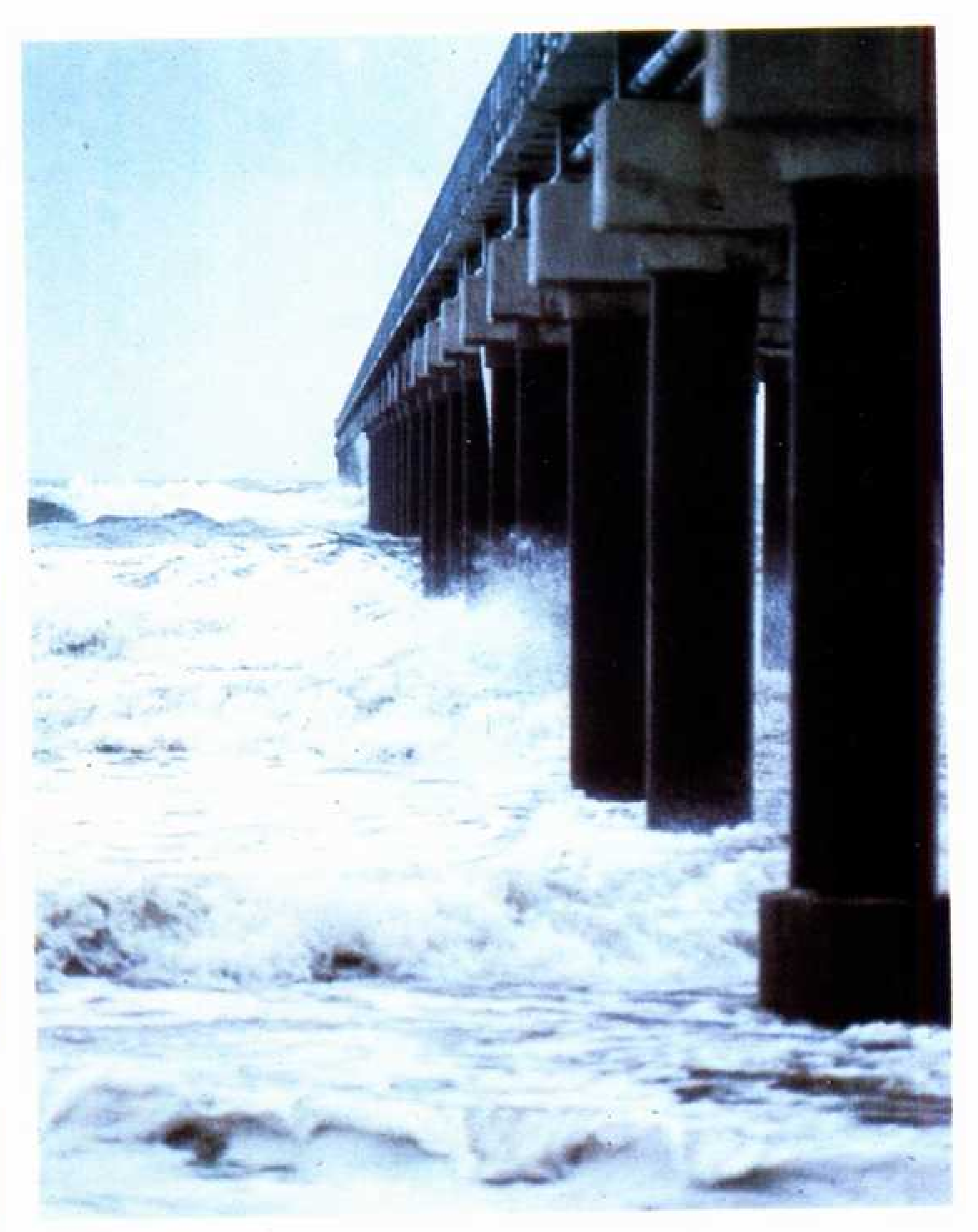






Plataformas estables. *Las fotografías de la página anterior muestran la parte emergida de dos plataformas fijas. Estas torres metálicas se asientan sólidamente en el suelo, cosa indispensable por la fuerza de las olas. Los laboratorios, muy completos, permiten llevar a cabo estudios meteorológicos, físicos, químicos, biológicos, etc. En el esquema de arriba: cámara de cine (1); anemómetro (2); termómetro de registro (3); hidrófono para el estudio de la propagación de los sonidos en el agua (4); aparato de captación de radiactividad (5); televisión, cámara submarina y parrilla de referencia (6); botella para muestras de agua (7); bomba aspirante para obtener muestras (8); transductor acústico (9); sensor para las ondas de largo período (10); sensor para las ondas luminosas (11); sensor de temperatura en el fondo (12); sensores de temperatura puestos en serie en la torre (13); transductor acústico (14); transductor vertical montado sobre un pilote angular (15); sensor de turbidez (16); sensor de ondas superficiales (17).*







establecer algún polígono industrial, etc. La oceanografía necesita —como ya hemos tenido ocasión de ver— de técnicas e instrumentos de investigación múltiples y variados. Los barcos oceanográficos continúan jugando un papel esencial. Los satélites se disponen a ocupar un lugar importante. Pero entre ambos tipos, las boyas, las plataformas y los espigones ofrecen un recurso muy valioso. Cuanto más significativos son los medios consagrados a la investigación en todos los campos, más progresa el conocimiento global de los océanos.


Los espigones oceanográficos. *Los espigones figuran entre las primeras estructuras fijas utilizadas en oceanografía. Están constituidos por una plataforma sostenida sobre pilotes que se adentra más o menos lejos en el mar. Pueden soportar cargas considerables, y están adaptados a las investigaciones que requieren el empleo de aparatos de medida pesados y embarazosos. Son, sobre todo, interesantes cuando se quieren estudiar a largo plazo las modificaciones de un perfil costero (erosión de una playa, enarenamiento de un estuario, etc.). Los que más los utilizan, aparte de los militares (estas tres fotografías muestran un espigón construido por el cuerpo de ingenieros de la Armada americana), son los contratistas de grandes obras hidráulicas. Su edificación resulta prácticamente indispensable cuando se quiere estudiar con la conveniente antelación temas relacionados con la construcción de obras públicas, tales como los efectos de la eventual excavación de un puerto, o el trazado de un canal, o la rectificación de una costa.*

REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

Agencia Cedri. Archivos Fabbri. S. Barghoorn. Beaujard-Cedri-Titus. Biblioteca Ambrosiana, Milán. British Museum. Cameraphoto, Venecia. Carlsberg Foundation. Civica Raccolta di Stampe Bertarelli, Milán. J. Constans. Larry J. Doyle. Michelangelo Durazzo/Magnum. Rhodes W. Fairbridge. Massimo Ferrigno. Charles W. Finkl Jr. Giorgerini. Ernst Hass/Magnum. Harbor Branch Foundation. Ulf Jonasson, Universidad de Göteborg. G. Mazza. Anita McConnell. Meteosat Programme. Mittet Foto A/S. R. C. Murphy. Musee Océanographique de Monaco. NASA. National Maritime Museum. National Science Foundation, Usarp. Naval Civil Engineering Laboratory. Noaa. Oceans Systems, Inc. Harold Palmer. Daniele Pellegrini. Lino Pellegrini. Perry Oceanographics. Guido Picchetti. Riccardo Pisarello/Marka. Folco Quilici. Royal Geographical Society. Royal Society. Saba. Science Museum, Londres. Scripps Institution of Oceanography. Saipem. Siebe, Gorman and Co. Dennis Stock/Magnum. Donald Swift. U.S. Geological Survey. Usis. U.S. Navy. Woods Hole Oceanography Inst., Woods Hole, MA., USA. Zoologisk Museum, Copenhague.

ILUSTRADORES

Elio Ando. Alessandro Bartolaminelli. Andrea Corbella. Ezio Giglioli. Hachette-Guides Bleus. Studio Due Punti, Milán. Tiger Tateishi. Mary Tharp.



6 ENCICLOPEDIA DEL MAR

folio